

## OBTENTION NUMERIQUE BIDIMENSIONNELLE DES CHAMPS DE TEMPERATURES DANS LA PARTIE SOLIDE D'UNE PILE A COMBUSTIBLE A OXYDE SOLIDE TYPE PLANAIRE

B. ZITOUNI, H. BEN MOUSSA, Y. Sahli, F. BEN MOUSSA

Département de Mécanique. Université de Batna, Algérie  
zitounibariza@yahoo.fr, H2SOFC@gmail.com  
Tél/fax: + 213 33 81 21 43

### RESUME:

Une pile à combustible est un dispositif électrochimique qui convertit l'énergie chimique d'une réaction directement en énergie électrique tout en dégageant de la chaleur.

L'objet de ce travail est l'étude numérique bidimensionnelle stationnaire des phénomènes de transfert de chaleur dans les piles type SOFC tout en s'intéressant à l'effet Joule. Les champs de température sont obtenus numériquement (méthode des différences finies) suivant un plan perpendiculaire aux sens de l'écoulement des gaz réactifs.

D'après l'analyse des résultats obtenus, il est apparu que le modèle développé pour la pile SOFC type planaire nous a permis de comprendre l'effet des dimensions, de la température des deux gaz (H<sub>2</sub> et l'air) ainsi que l'effet de la distance entre les canaux sur la valeur et la localisation de la température maximale sur le champ de température dans toute la partie solide d'une cellule de SOFC planaire; l'électrolyte, les électrodes et l'interconnecteur.

**Mots clés:** SOFC, stationnaire, bidimensionnelle, température, effet Joule

### 1. INTRODUCTION

Les dimensions, les paramètres physiques; températures de gaz, densité de courant électrique en plus des sources de chaleurs limitent les valeurs des températures maximales et leurs localisation dans les piles type SOFC (Solid Oxide Fuel Cell).

Suite à nos travaux de recherche sur les transferts de chaleur et de masse dans les deux types de piles; SOFC et PEMFC [1] - [6] et dans le cadre de cette étude, le champ de température est visualisé dans un plan perpendiculaire au sens de l'écoulement des gaz dans les canaux anodiques et cathodiques d'une cellule SOFC (Figure 1). L'analyse est faite en fonction de l'effet "effet Joule" considéré comme une source de chaleur, des épaisseurs (électrodes, électrolyte et interconnecteur) et des distances entre les canaux d'une cellule.

### 2. MODELE MATHEMATIQUE ET RESOLUTION NUMERIQUE

On supposant que le régime de transfert thermique est stationnaire, toute les parties constituant la cellule sont solides et que les gaz dans les canaux sont à des températures homogènes, le modèle thermique mathématique décrivant le phénomène de transfert de chaleur dans les différentes parties solides d'une cellule SOFC est:

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + S = 0 \quad (1)$$

$\lambda$ : La conductivité thermique est supposée constante dans chaque partie solide de la pile (anode, cathode, électrolyte, interconnecteur). S: est terme source de chaleur.

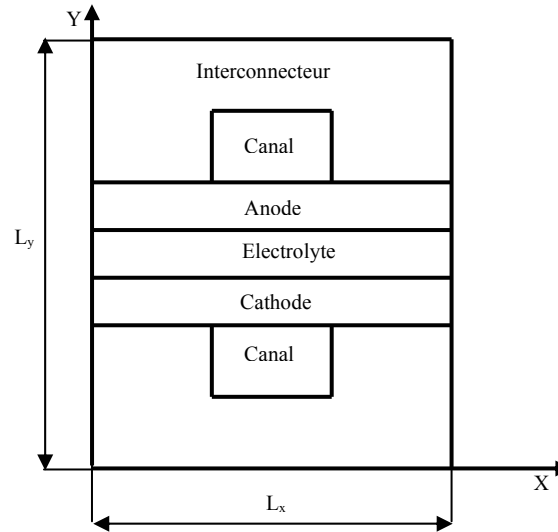


Figure 1 : Modèle physique

.La discrétisation de l'équation de conservation d'énergie bidimensionnelle, avec source de chaleur et stationnaire par la méthode des volumes finis est entamé.

$$\int_{e_n}^{w_s} \int_{e_n}^{s_s} \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dy + \int_{e_n}^{w_s} \int_{e_n}^{s_s} \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} dx dy + \int_{e_n}^{w_s} \int_{e_n}^{s_s} S dx dy = 0 \quad (2)$$

$$\lambda \int_{e_n}^{w_s} \int_{e_n}^{s_s} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dy + \lambda \int_{e_n}^{w_s} \int_{e_n}^{s_s} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} dx dy + S \int_{e_n}^{w_s} \int_{e_n}^{s_s} dx dy = 0 \quad (3)$$

$$\lambda \left( \int_n^s \frac{\partial T}{\partial x} dy + \int_e^w \frac{\partial T}{\partial y} dx \right) + S \Delta x \Delta y = 0 \quad (4)$$

On considère que les deux gaz sont à températures constantes à l'intérieur de chaque canal. La température des parois est égale à la température des deux gaz. Vue la symétrie dans la conception des piles SOFC, le reste des conditions aux limites sont du type:  $dT/dx=0$  et  $dT/dy=0$ .

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Champ de température suivant configuration géométrique

Ici, le champ de température est donné pour un matériaux standard (NiYSZ), (YSZ), (LSM), une température des gaz égal à (1023 K) et une densité de courant égal à (20000 A/m<sup>2</sup>).

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'élévation de la température est remarquable dans le cas d'une cellule avec même épaisseur pour tous les éléments ( $T_{\max} = 1033.19$  K) et ( $T_{\min} = 1023.68$  K) (Figure 2). L'augmentation de la température est de l'ordre de 10 K.

Les autres cellules ayant une anode supportée, électrolyte supportée et ainsi que celles ayant une anode et une cathode supportée présentent presque la même allure de champ. L'augmentation de la chaleur est visualisée par un centième d'unité. La température minimale est localisée dans les deux canaux anodique et cathodique C'est-à-dire la température d'entrée des deux gaz, mais la température maximale est située dans différents endroits et suivant chaque configuration géométrique.

### 3.2. Champ de température suivant la valeur des température des gaz

Les résultats de ce modèle thermique montre l'influence de la valeur de la température des deux gaz sur l'élévation de la température dans la partie solide d'une pile SOFC dans le cas d'une source de chaleur de type ohmique et suivant deux cas:

1. même valeur de température des deux gaz
2. différentes valeurs des températures dans chaque canal.

Les résultats obtenus sont calculés pour des conductivités thermiques des matériaux standard (NiYSZ, YSZ, LSM). Les dimensionnements sont donnée par la référence [11] (même épaisseur pour tous les éléments) et avec une densité de courant égal à (20000 A/m<sup>2</sup>).

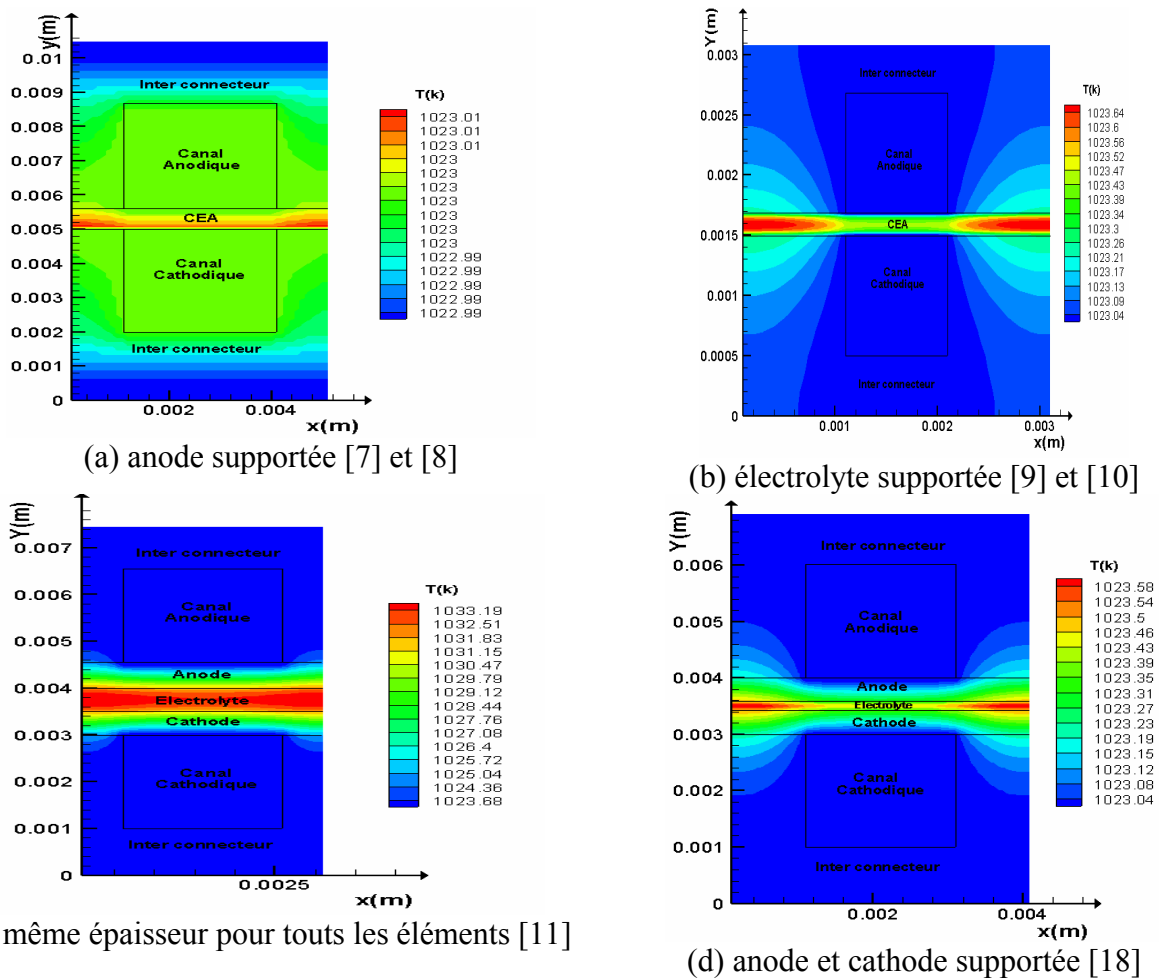


Figure 2: Champ de température avec effet Joule

#### 3.2.1. Même valeur pour les températures de gaz dans les deux canaux

Les résultats obtenus avec deux types de températures de gaz;  $T_{\text{gaz}}$  égale à 913 K [14] et  $T_{\text{gaz}}$  égale à 1173 K [13], [16] et [15] montrent que la température maximale est situé dans les endroits de l'électrolyte les plus loin des canaux (respectivement 944.707 K, 1176.65 K). La température minimale est localisée dans les deux canaux anodique et cathodique. La partie de l'électrolyte entre les deux canaux est caractérisée par une moins élévation de température par rapport aux autre électrode (Figure 3).

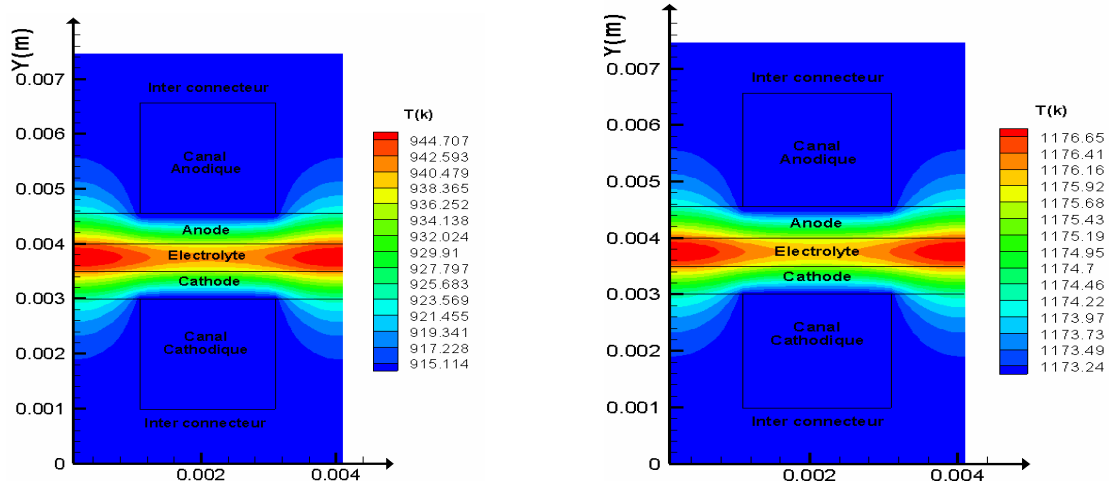


Figure 3: Champ de température avec effet Joule  
(a)  $T_{\text{gaz}} = 913 \text{ K}$  [14],  $T_{\text{gaz}} = 1173 \text{ K}$  [13] [15] et [16]

### 3.2.2. Différentes valeurs de températures des gaz dans les deux canaux

D'après la référence [17], les températures de gaz sont comme suit; une température égale à 1143 K pour  $\text{H}_2$  (canal anodique) et une température d'entrée égale à 873 K pour l'air (canal cathodique). Dans ce cas l'électrolyte est caractérisé par une température moyenne entre les deux températures d'entrée des gaz, la température de l'anode est supérieure par rapport à la température de la cathode (Figure 4).

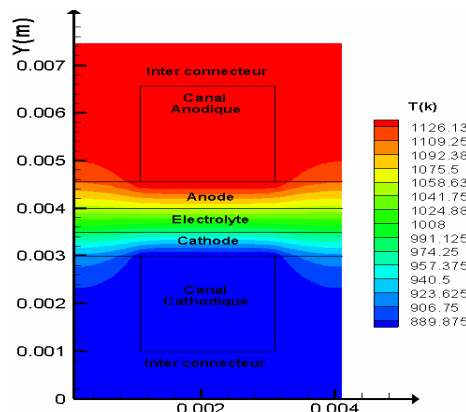


Figure 4: Champ de température avec effet Joule,  
 $T = 1143 \text{ K}$  pour  $\text{H}_2$  (canal anodique) et  $T = 873 \text{ K}$  pour l'air (canal cathodique)

Lorsque les deux températures dans les deux canaux sont différentes, l'effet de la source de chaleur due aux pertes ohmiques est négligeable (même résultat obtenue (cas sans source et avec source)). On voit bien l'augmentation de la température pour chaque température d'entrée des deux gaz suivant l'axe (OY) de la pile. Ces courbes montrent que l'augmentation des températures d'entrée des deux gaz provoque une température maximale dans l'électrolyte ( $T = 1173 \text{ K}$  pour les deux gaz); dans le cas des températures différentes, l'augmentation de la température est remarquable aux niveaux de cœur de la pile; l'anode, la cathode et l'électrolyte et électrolyte).

### 3.3. Différentes distances entre les canaux

Les dimensions sont prises de la référence [11]. Il s'agit de SOFC dont les épaisseurs des deux électrodes et électrolyte sont de même dimension. Les températures des deux gaz sont égales à 1023 K et la densité de courant est égale à  $(20000 \text{ A/m}^2)$ .

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'augmentation des distances entre deux canaux provoque une propagation de la chaleur de part et d'autre des extrémités de l'électrolyte vers les parties justes à posées des deux interconnecteurs jouent le rôle d'une source de chaleur.

Pour une distance égale à 0.6 mm la propagation de la chaleur reste localisée autour des deux électrodes et de l'électrolyte. Les valeurs des températures maximale sont respectivement pour 1 et 4 mm sont comme suit;  $T_{\max} = 1032.68 \text{ K}$  et  $1039.91 \text{ K}$  (Figure 5).

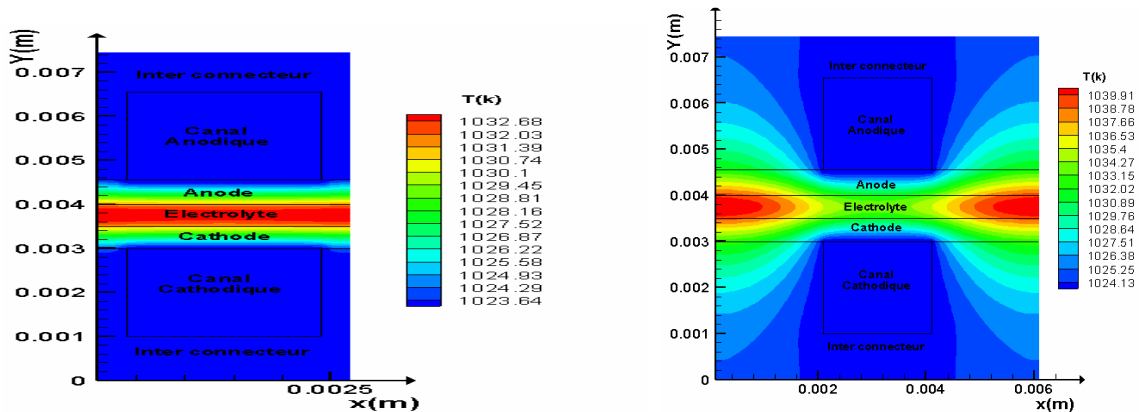


Figure 5: Champ de T en fonction des distances entre les canaux (a) 0.6 mm (b) 4 mm

#### 4. Conclusion

Notre travail est dans le but d'étudier les phénomènes de transfert de chaleur dans une cellule élémentaire d'une pile à combustible de type SOFC. Un modèle mathématique a été développé pour le cas d'une source de chaleur type effet Joule. Les résultats sont d'une étude numériquement aux volumes finis. Nos discussions sont basées sur des champs de température suivant un plan perpendiculaire aux sens de l'écoulement.

L'effet des dimensions, de la température des deux gaz ainsi que l'effet de la distance entre les canaux sur la valeur maximale de la température ainsi que leurs localisation sont discutés.

- en général, les hautes températures sont localisées dans les endroits de l'électrolyte les plus éloignées des canaux.
- L'élévation de la température est remarquable dans le cas d'une cellule avec même épaisseur pour tous les éléments ( $T_{\min} = 1023\text{K}$ ,  $T_{\max} = 1033\text{K}$ ); avec un  $DT = 10 \text{ K}$ .
- L'effet de la source de chaleur due aux pertes ohmiques est négligeable lorsque les deux températures des deux gaz sont différentes.
- L'augmentation des distances entre les canaux (4 mm) provoque une propagation de la chaleur vers les deux interconnecteurs supérieur et inférieur.

Ces résultats liés à la localisation de la température maximale et la valeur maximale de sont élévation ont été retrouvée par d'autre auteurs [8], [11] et [17].

#### Références

1. Zitouni B., Ben Moussa H., Oulmi K. Studing on the increasing temperature in IT-SOFC: Effect of heat sources. *An international applied physics & engineering journal. Journal of Zhejiang University SCIENCE A. Zhejiang University Press, co-published with Springer-Verlag GmbH. Vol. 8, No 9, Sept., 1500-1505. ISSN 1673-565X (Print); ISSN 1862-1775 (electronic version)*
2. Bariza Zitouni, Hocine Ben Moussa, Kafia Oulmi, Slimane Saighi, Khaled Chetehouna. Temperature field, H<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O mass transfer in SOFC single cell: Electrode and electrolyte thickness effects. *International journal of Hydrogen. (2009). In press.*
3. D. Haddad, H. Ben Moussa, N. Bourmada, K. Oulmi, B. Mahmah and M. Belhamel. One dimensional transient numerical study of the mass heat and charge transfer in a proton

- exchange membrane for PEMFC. *International journal of Hydrogen*. (2009). *In press*.
4. H. Ben Moussa, D. Haddad, K. Oulmi, B. Zitouni, B. Mahmah et M. Belhamel. Modélisation et simulation numérique des transferts fluidique et thermique dans le canal et couches cathodiques d'une PEMFC. *Revue des Energies Renouvelables*. E-ISSN / ISSN 1112 – 2242. Vol. 10 N°1 (2007) 139 – 156
  5. B. Zitouni, H. Ben Moussa, K. Oulmi, S. Saighi. Multi Modélisation des Phénomènes Thermiques dans les Piles Type SOFC Planaire. *Revue des Energies Renouvelables*. E-ISSN / ISSN 1112 – 2242. ICRES-07 Tlemcen (2007) 281 – 286
  6. H. Ben Moussa, B. Zitouni, K. Oulmi, S. Saighi, B. Mahmah and M. Belhamel. Etude de l'effet thermique des différentes polarisations dans une pile à combustible de type SOFC. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 10 N°3 (2007) 345 – 355.
  7. David L. Damm, Andrei G. Fedorov, 2006, Reduced-order transient thermal modeling for SOFC heating and cooling. *Journal of Power Source*. 159 pp. 956-967
  8. David Lee Damm, 2005, Radiative and transient thermal modeling of solid oxide fuel cells; *PhD thesis*, Georgia Institute of Technology.
  9. Masayuki Suzuki, Koji Fukagata, Naoki Shikazono and Nobuhide Kasagi, Numerical Analysis of Temperature and Potential Distributions in Planar-Type SOFC, 2005, 3.20-3.23 *Jeju, Korea*.
  10. DE-AC26-02NT41571, numerical simulation o the performance of planar solid oxide fuel cells.
  11. Syryanarayana Raju pakalapati, 2006, A new reduced order model for solid oxide fuel cells, Morgantown, *PhD thesis*.
  12. P.A. Ramakrishna, Shi Yang, C.H. Sohn, Innovative design to improve the power density of a solid oxide fuel cell, 2006, *Journal of Power Sources* 158 pp. 378–384
  13. R.S. Gemmen, W.A. Rogers, M.T. Prinkey, Application of a Computational Fluid Dynamics Code to Fuel Cells—Integrated SOFC FuelCell and Post Oxidizer ;Morgantown, WV 26507.
  14. Tsang-Dong Chung, Wen-Tang Hong, Yau-Pin Chyou, Dong-Di Yu, Kin-Fu Lin, Chien-Hsiung Lee, Efficiency analyses of solid oxide fuel cell power plant systems, 2008, *Applied Thermal Engineering* 28 pp. 933–941.
  15. Lijin Wang, Huisheng Zhang, Shilie Weng, Modeling and simulation of solid oxide fuel cell based on the volume–resistance characteristic modeling technique, 2008, *Journal of Power Sources* 177 pp. 579–589.
  16. Xiongwen Zhang, Guojun Li , Jun Li, Zhenping Feng, Numerical study on electric characteristics of solid oxide fuel cells, 2007, *Energy Conversion and Management* 48 pp. 977-989.
  17. R. Suwanwarangkul , E. Croiset , M.D. Pritzker , M.W. Fowler , P.L. Douglas , E. Entchev, Mechanistic modelling of a cathode-supported tubular solid oxide fuel cell, 2006, *Journal of Power Sources* pp. 154 pp. 74-85
  18. P.A. Ramakrishna, Shi Yang, C.H. Sohn, Innovative design to improve the power density of a solid oxide fuel cell., 2006, *Journal of Power Sources* 158 pp. 378–384.