

ETUDE DE LA NATURE DU MILIEUX SUR L'ÉCOULEMENT DES GAZ DANS LES CANAUX D'UNE PILE À COMBUSTIBLE DE TYPE PEM

Hassiba BEKKOUCHE¹, Abia CHAKER¹

¹Laboratoire de Physique Énergétique, Département de Physique, Université les Frères Mentouri Constantine
hassibabek@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le travail présenté contribue à la modélisation numérique bidimensionnelle et transitoire des phénomènes de l'écoulement des gaz dans les canaux pour voir son influence sur la distribution des réactifs dans une pile à combustible à membrane échangeuse de protons. Le modèle mathématique élaboré est résolu par la méthode des volumes finis. Cette étude a permis de mieux comprendre la différence d'un écoulement dans un milieu continu et un milieu poreux et de visualiser l'effet de la vitesse d'entrée des réactifs sur le transport et la distribution d'oxygène et d'hydrogène dans toutes les parties de la pile dans le but d'améliorer les performances électriques de cette dernière. Nous considérons que les canaux des gaz sont des milieux continus, tandis que les couches de diffusion, de catalyseur et la membrane sont des milieux poreux.

Mots Clés: Pile à Combustible, Ecoulement, Perméabilité, Vitesse Transversale, Volumes Finis.

NOMENCLATURE

Symboles :	η polarisation
K perméabilité, m ²	σ conductivité thermique $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$
T température, K	ϵ porosité
P pression, Nm ⁻²	Indices / Exposants :
U vitesse longitudinale ms ⁻¹	eff effectif
V vitesse transversale ms ⁻¹	a anode
Lettres grecques :	c cathode
ρ masse volumique, kgm ⁻³	m membrane
μ viscosité dynamique kgm ⁻¹ s ⁻¹	GDL couche de diffusion de gaz
α diffusivité thermique m ² s ⁻¹	CL couche de catalyseur

1. INTRODUCTION

Les batteries électriques peuvent faire fonctionner tout appareil électrique et notamment être capable de produire de l'énergie pour faire rouler un véhicule par exemple. Elles ont le mérite de ne pas engendrer de matières polluantes ni de bruits sonores. Les piles PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), si elles sont si populaires par rapport aux autres types de piles, c'est grâce à leur faible température de fonctionnement qui permet un démarrage rapide, leur plus grande souplesse de fonctionnement avec le moins de chaleur à évacuer

et un large spectre de puissance qui présentent leurs principaux avantages. La pile à combustible de type PEM se compose d'une membrane d'électrolyte de polymère solide serrée entre deux électrodes. Les électrodes sont à base d'un matériau carboné sur lequel sont déposés des grains de platine jouant le rôle de catalyseur. On les subdivise généralement en deux couches, la couche catalytique et la couche de diffusion. Les plaques bipolaires dirigent le carburant et l'oxydant des deux côtés de la pile par des canaux usinés dans ces plaques, donc leur rôle est d'assurer une répartition homogène des gaz sur les électrodes.

Le développement de la technologie des piles a suscité un grand intérêt ces dernières années car l'utilisation de cette technologie est particulièrement compliquée, du au grand nombre de paramètres à contrôler en même temps (les flux de gaz, la température de fonctionnement, l'humidification des membranes etc.). L'influence de tous les paramètres intérieurs et extérieurs de la pile rend la modélisation complexe puisque il faut tenir compte de plusieurs phénomènes, des transferts de chaleur et de masse aussi bien que des effets électriques et électrochimiques qui se produisent dans la pile à combustible. L'influence de la nature du milieu sur le transport des gaz dans les canaux d'écoulement des PEMFC a fait l'objet de nombreuses études tant théoriques qu'expérimentales [1-5], c'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail qui aura pour objectif une modélisation bidimensionnelle et transitoire des phénomènes de transport des reactifs dans un plan parallèle à l'écoulement qui inclut tous les éléments de la pile.

2. MODELE MATHEMATIQUE

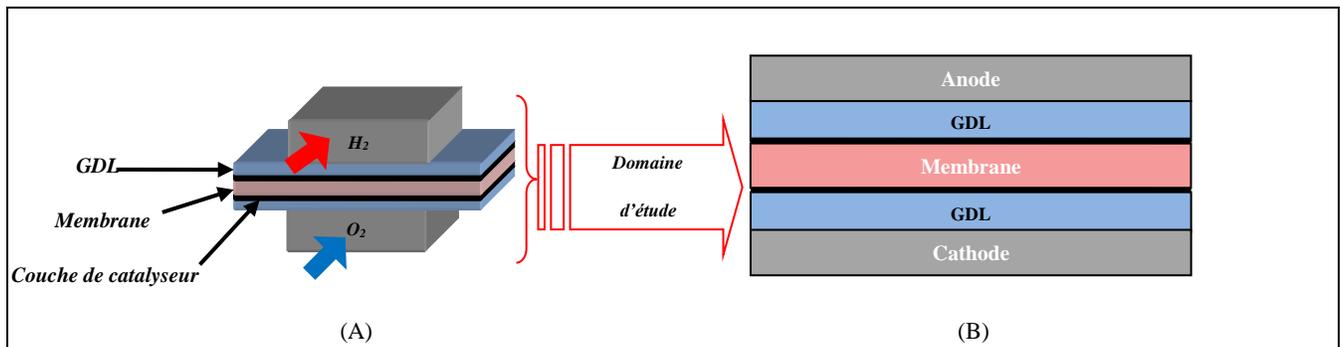


FIGURE 1. Présentation du domaine d'étude de la pile à combustible

(A): 3D, (B): coupe longitudinale.

2.1. Equations du modèle

La modélisation bidimensionnelle des phénomènes qui se produisent dans la pile est décrite par les équations suivantes:

2.1.1. Equation de continuité

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

2.1.2. Equation de mouvement

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + U \frac{\partial \rho U}{\partial x} + V \frac{\partial \rho U}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu^{eff} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu^{eff} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + S_U \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + U \frac{\partial \rho V}{\partial x} + V \frac{\partial \rho V}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu^{eff} \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu^{eff} \frac{\partial V}{\partial y} \right) + S_V \quad (3)$$

2.1.3. Equation d'énergie

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha^{eff} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\alpha^{eff} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + S_T \quad (4)$$

Description			
0.3.10 ⁻³ m	e _a	0.28	ε _m
0.3.10 ⁻³ m	e _c	5N/m ²	p _a
0.3.10 ⁻³ m	e _{GDL}	5N/m ²	p _c
0.1.10 ⁻¹ m	e _m	67 mol/m ³	C _a
350 K	T	17 mol/m ³	C _c

TABLEAU 1. Valeurs des paramètres utilisées pour la simulation

Le flux de distribution des gaz dans les électrodes est modélisé par la loi de Darcy avec le gradient de pression comme force d'entraînement. Cette loi qui n'exige pas une description géométrique détaillée de structure de pore, considère que le vecteur vitesse est déterminé en fonction du gradient de pression, de la viscosité du fluide, et de la structure des milieux poreux. [6]

$$S_{\vec{U}} = -\varepsilon \frac{\mu}{K} \vec{U} \quad (5)$$

Avec :

ε: Porosité.

K: Perméabilité de chaque milieu de la pile.

μ: Viscosité dynamique.

3. RESOLUTION NUMERIQUE

L’outil numérique utilisé pour la résolution du système d’équations est la méthode des volumes finis [7], qu’elle est souvent utilisée en phénomène de transport de masse et transfert de chaleur. Un programme informatique (Fortran) est développé pour l’obtention des champs et profils de vitesse et de concentration des espèces dans toutes les parties de la pile.

4. RESULTATS

Dans le but de voir l’effet de la deuxième direction (y), la seconde composante (vitesse transversale (V)) est présentée sous forme de contours pour différentes valeurs de la perméabilité. On remarque sur la figure (2), que pour de faibles valeurs de la perméabilité la vitesse est nulle alors qu’elle croit avec l’augmentation de la perméabilité. Une explication peut être avancée, à savoir qu’à l’entrée des canaux, les réactifs entrent avec des vitesses maximales (vitesses d’entrée des réactifs), ces grandes vitesses ne laissent pas les réactifs se diffuser à travers la GDL, d’où l’absence de vitesse dans toutes les parties de la pile. Après un certain temps, les vitesses d’entrée diminuent, ce qui permet la diffusion des gaz dans le cœur de la pile d’où l’apparition de vitesse, qui va augmenter avec l’accroissement de la perméabilité

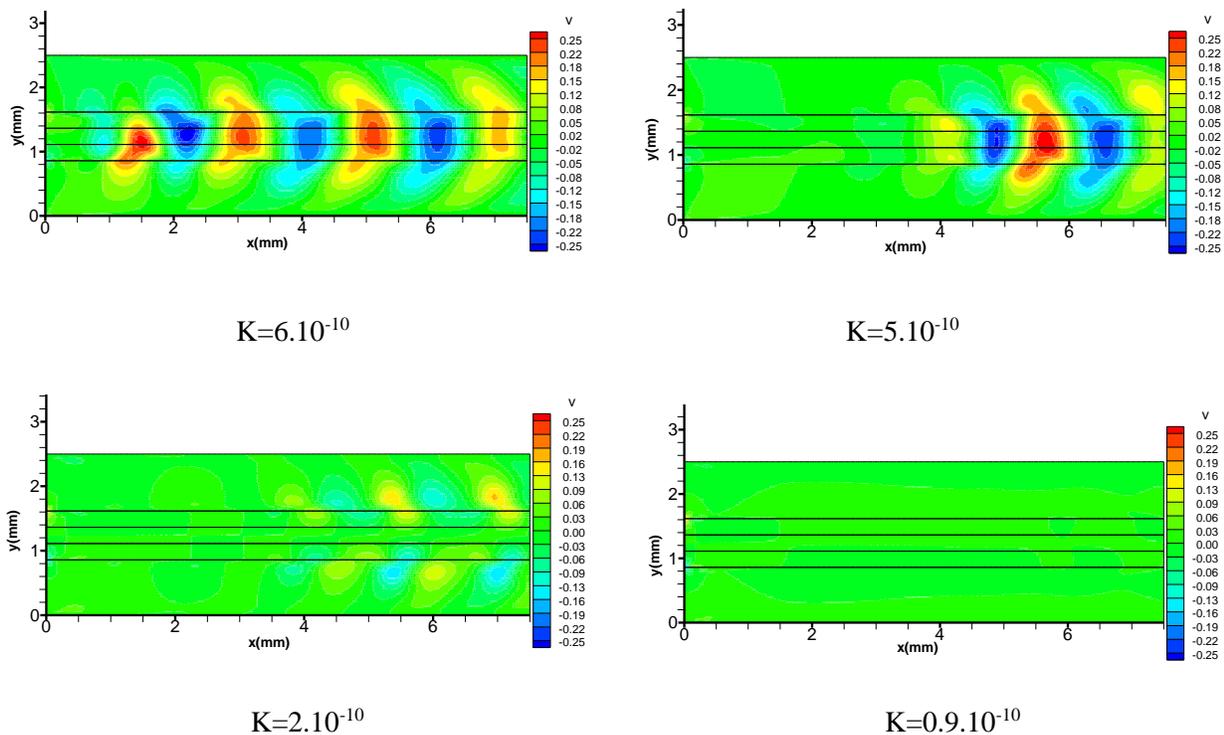


FIGURE 2. Répartition du champ de vitesse pour différentes valeurs de perméabilité

L'observation des courbes de la figure (3) permet de noter que pour une valeur de la perméabilité de l'ordre de $0.9 \cdot 10^{-10}$, le profil de la vitesse est linéaire ce qui signifie que cette dernière est nulle. Pour de grandes valeurs de perméabilité ($K=5 \cdot 10^{-10}$ et $6 \cdot 10^{-10}$), les profils de la vitesse sont de forme aléatoire ce qui peut être expliqué par le fait que lorsque K augmente, l'écoulement se dirige vers la couche poreuse.

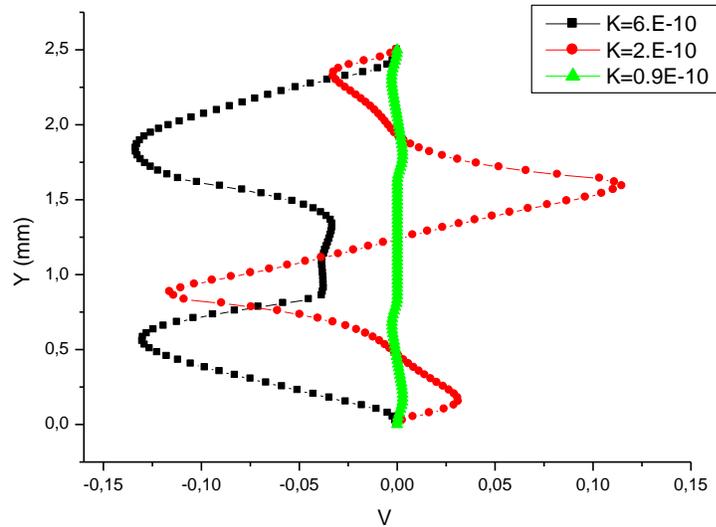
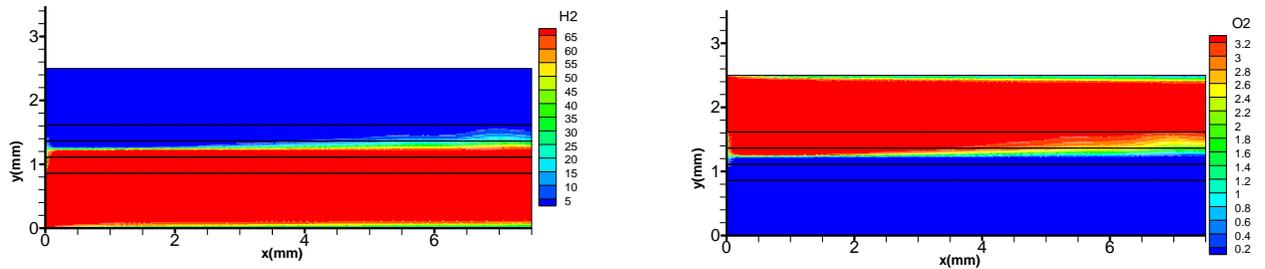
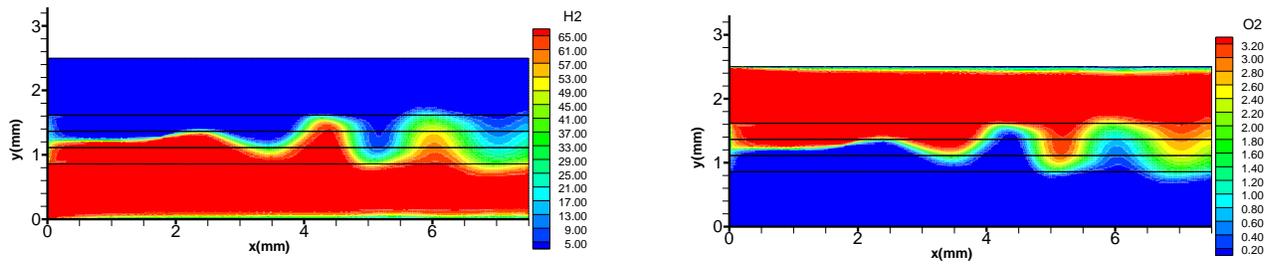


FIGURE 3. Profil de la vitesse suivant la hauteur de la pile pour différentes valeurs de perméabilité

L'effet de la nature du milieu (continu ou discontinu) sur la répartition de l'hydrogène et de l'oxygène dans les différentes parties de la pile est mis en évidence sur la figure (4). Nous pouvons remarquer sur cette dernière une distribution homogène des espèces dans canaux anodique et cathodique quand la perméabilité K est faible. Pour des valeurs de K importantes, des perturbations apparaissent sur le profil des champs de concentrations qui prend un aspect de plus en plus sinusoïdal de la paroi vers l'intérieur de la pile.



$$K=0.9.10^{-10}$$



$$K=5.10^{-10}$$

FIGURE 4. Répartition du champ pour des concentrations des réactifs

5. CONCLUSIONS

La modélisation bidimensionnelle des phénomènes de l'écoulement des gaz dans les canaux dans un plan parallèle à l'écoulement supposé laminaire, incompressible et isotherme dans toutes les parties d'une pile à combustible de type PEMFC a été entreprise dans le cadre de cette étude. L'analyse des résultats obtenus, a conduit aux observations suivantes :

- Une distribution homogène de réactifs est assurée avec des faibles valeurs de perméabilité.
- L'effet de la vitesse d'entrée des réactifs dans les canaux anodique et cathodique démontre que pour de faibles valeurs de la perméabilité la vitesse est nulle alors qu'elle croit avec l'augmentation de la perméabilité.

Comme l'écoulement des gaz dans les canaux a une grande influence sur les performances des piles à combustible de type PEMFC, notre travail est considéré comme une contribution à l'étude et un outil d'aide

pour la compréhension des phénomènes physiques qui se déroulent dans les piles ainsi que l'influence de la vitesse d'écoulement des gaz dans les canaux sur la distribution des réactifs.

Les résultats que nous avons obtenus suggèrent que la diffusion des espèces dans la couche de diffusion des gaz est d'autant plus facile que les perméabilités du GDL et du catalyseur sont grandes ce qui amène par conséquent plus de gaz à la couche de diffusion, jusqu'à la couche de catalyseur où se déroule la réaction d'oxygène et d'hydrogène pour produire de l'électricité

REFERENCES

- [1] S.W.Perng, H.W.Wu, T.C.Jue and K.C.Cheng, Numerical predictions of a PEM fuel cell performance enhancement by a rectangular cylinder installed transversely in the flow channel, *Applied Energy*, 86 1541–1554, 2009.
- [2] J. Scholta, G. Escher, W. Zhang, L. Küppers, L. Jorissen and W. Lehnert, Investigation on the influence of channel geometries on PEMFC performance, *Journal of Power Sources*, 155 66–71, 2006.
- [3] M.Akbari and B.Rismanchi, Numerical investigation of flow field configuration and contact resistance for PEM fuel cell performance, *Renewable Energy*, 33 1775–1783, 2008.
- [4] N.P.Siegel, M.W.Ellis, D.J.Nelson and M.R.Spakovsky, A two-dimensional computational model of a PEMFC with liquid water transport, *Journal of Power Sources*, 128 173–184, 2004.
- [5] D.Haddad, H.Benmoussa, 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 energy*, 34 5010 -5014, 2009.
- [6] G.H.Guvelioglu and H.G.Stenger, Computational fluid dynamics modeling of polymer electrolyte membrane fuel cells, *Journal of Power Source,s* 147 95–106, 2005.
- [7] S.V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Series in Computational Methods in Mechanics and Thermal Sciences, 1980.