ETUDE COMPARATIVE DE L'APPLICATION DU SYSTEME ENERGETIQUE À BASE DE PILE À COMBUSTIBLE PEMFC POUR DIFFERENTS CLIMATS

W. BENDAIKHA-TOUAFEK, S. LARBI et K. TOUAFEK
Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, BP 88 Garat Ettam Ghardaïa, ALGERIE
Tél. : 0213-029-87-01-26 ; Fax : 0213-029-87-01-46
W_touafek@yahoo.fr

Résumé

Cet article traite l'étude d'un nouveau concept de climatisation de l'habitat par un Système Energétique Total « SET » basé sur la « PEMFC » alimentée en hydrogène conçu dans ce cas pour le chauffage de l'eau sanitaire et de l'espace d'une habitation. Nous avons également effectué une simulation numérique in stationnaire pour ce SET que nous avons appliqué à deux habitations situées l'une à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables dans le site de Ghardaïa (Algérie) et l'autre à Atlanta USA et ce si pour la disponibilité des données météorologiques ainsi que leurs cahier de charges (consommation journalière en énergie et en eau chaudes).

Mots clés : PEMFC, habitation, Climats, Système énergétique Total, Chauffage, Cogénération

1. INTRODUCTION :

Plusieurs systèmes à base de la PEMFC ont fait objet de plusieurs projets de recherches appliquées qui ont démontré leurs performances énergétiques importantes. En effet, ils sont plus efficaces étant donné qu'ils utilisent les rejets d'énergie thermique induite lors de la production d'énergie électrique pour la climatisation des habitations. En plus de la cogénération assurée par utilisation des piles à combustible elle présentait un avantage en termes de pollution, en effet si on utilise de l'hydrogène pur, les rejets sont pratiquement nuls et en principe plus faibles que dans les technologies concurrentes si l'hydrogène est produit par reformage des hydrocarbures **[1,2]**. De plus, les nuisances sonores sont très faibles, ce qui facilite l'insertion urbaine de ces systèmes. Enfin, l'utilisation des piles à combustibles offre l'avantage d'un rendement élevé **[3]**.

L'intérêt porté par les industriels varie selon le type de piles à combustible et les avancées technologiques faites sur leurs composants. Cet intérêt dépend aussi fortement des applications spécifiques à chaque type de pile **[4]**.

Deux types de piles à combustible semblent devoir s'imposer : les PEMFC et les SOFC. Les PEMFC sont les plus aptes à être utilisée dans le domaine stationnaire (petite et moyenne cogénération) [5-7**]**.

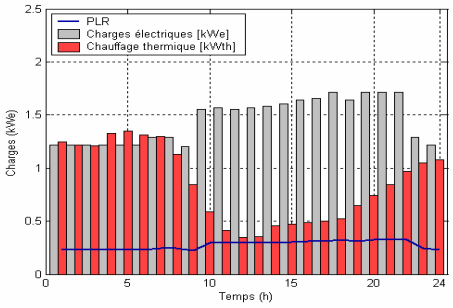
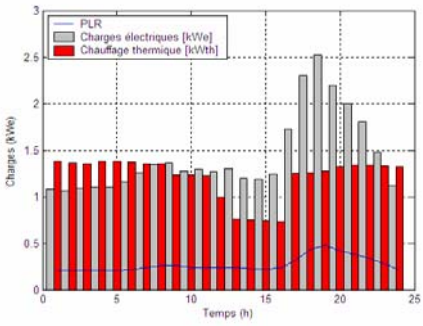
Les SOFC en revanche pourront être commercialisées pour des applications de production centralisée de courant **[8-16]** (en particulier couplées avec des turbines à gaz), elles peuvent être aussi utilisées pour la cogénération de faible puissance ou en tant que générateurs auxiliaires ou APU (Auxiliary Power Unit) pour des véhicules où elles entrent alors en concurrence avec les PEMFC **[9-8]**.

Les PAFC sont à l'heure actuelle celles qui ont été les plus étudiées par de nombreux chercheurs mais leurs caractéristiques intrinsèques limitent leur utilisation et leur développement **[10-9]**. Les AFC **[10-9]**, les premières développées, restent employées dans le domaine spatial et seront sans doute remplacées par les PEMFC. Quant aux MCFC**[11-17]**, leur avenir reste incertain car leur utilisation est limitée à la cogénération de moyenne puissance ainsi qu'à la production centralisée de courant (couplées avec des turbines à gaz) et elles présentent encore des problèmes liés à la corrosion de leur électrolyte et leur volume important. Les DMFC **[10-9]**, elles, seraient destinées aux applications portables.

2 PRESENTATION DES CHARGES

L'habitation prise en considération pour la simulation numérique pour le site de Ghardaïa est constituée de deux chambres, d'un salon, d'une cuisine, d'une salle de bain et d'un couloir. Pour l'éclairage de l'ensemble des chambres de cette habitation individuelle nous nous proposons d'utiliser des réglettes à fluorescence de 18W. Ceci pour leur faible consommation et leur grande luminosité. Comme électroménager, nous considérons qu'il n'existe que les appareils de base à savoir : un téléviseur couleur et un réfrigérateur. Pour le site d'Atlanta nous avons utilisé des données de la référence **[12-14]**.

Tableau 1 : Données réelles utilisées pour la simulation numérique de la saison froide

Habitation	Ghardaia	Atlanta, Georgia
Surface (m^2)	60	95
personnes	3	4
La consommation journalière de l'eau chaude (l/h)	95	125.2
Evolution des charges électriques et thermiques pour une journée du mois de Janvier	 Figure 1 : Evolution des charges électriques pour une journée du mois de Janvier	 Figure 2 : Evolution des charges électriques pour Atlanta

Les tableaux 1 et 2 montrent les températures moyennes mensuelles du site d'implantation des deux habitations étudié (Ghardaïa et Atlanta, Georgia).

Tableau 1: Les températures moyennes mensuelles du site de Ghardaïa

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
$T_{ambiante}$	9.32	10.22	18.48	22.25	28.8	30.64	34.13	35.8	27.85	25.15	14.4	11.52

Tableau 2 : Les températures moyennes mensuelles de l'Atlanta, Georgia

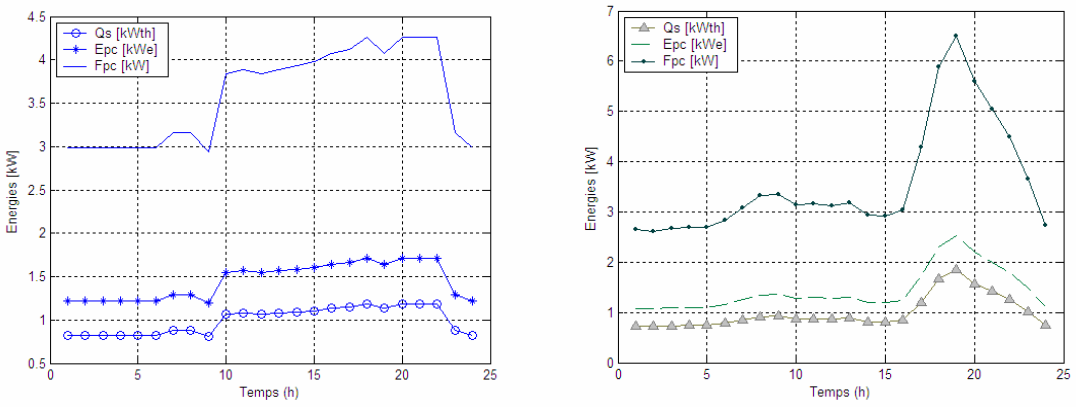
Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
$T_{ambiante}$	14.7	13	12.7	13.8	16.2	19.2	21.9	23.7	24	22.8	20.4	17.4

Dans le tableau 1 nous constatons que la température extérieure moyenne est comprise entre 9 et 15 °C pour la période hivernale, de 19 à 28 °C pour les périodes d'automne et de printemps. Par contre pour la période estivale, la température extérieure est comprise entre 29 et 36°C. Ainsi celle ci nous conduit à prévoir une climatisation.

Dans le cas d'Atlanta, Georgia nous pouvons voir que pour l'hiver nous avons des températures moyennes comprises entre 13 et 20°C, de 19 à 24 °C pour la période estivale. Ce qui n'est pas vraiment important qu'au site de Ghardaïa. Afin de mieux voir les fluctuations de la consommation de notre habitation, nous avons tracé les figures 1 et 2 qui représentent respectivement la variation moyenne des charges électriques et thermiques pour chaque heure pour une journée du mois de Janvier ainsi que le rapport de la charge (PLR). La représentation graphique des charges électriques et thermiques pour le chauffage de l'espace pour la journée du mois de Janvier choisi montre qu'il y'a une grande demande en énergie thermique pour le chauffage de l'espace pendant la matinée et le soir pour le site de Ghardaïa (figure1) et le soir pour Atlanta (figure 2), Georgia.

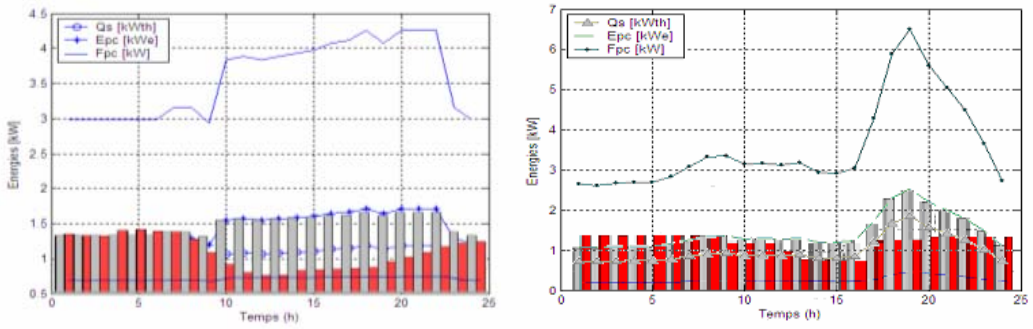
3. RESULTAS DE LA SIMULATION NUMERIQUE

Afin de simuler le fonctionnement de notre système énergétique total (SET) nous avons pris comme données les valeurs climatiques du site d'implantation des deux habitations ainsi que les charges électriques et thermiques de l'habitation mentionnée dans les paragraphes précédents. Nous avons pris une journée type pour chaque site de fonctionnement ainsi que les données moyennes qui nous ont permis d'éviter le surdimensionnement du Système Energétique Total (SET). L'utilisation du logiciel MATLAB nous a permis la résolution numérique des équations décrivant notre système énergétique SET. Les résultats du programme de calcul ont été présentés sous formes de graphes.
Nous avons représenté dans la figure 3 la quantité de chaleur produite par la PEMFC (Q_S) et récupérée par les échangeurs de chaleur pour les deux sites, l'énergie électrique délivrée par la PEMFC en fonction du temps (E_{PC}) ainsi que la quantité de combustible (le CH4) consommé(F_{PC}) et transformé en hydrogène par le biais d'un reformeur **[13-15]**.



(a) (b)

Figure 3 : Evolution de l'énergie électrique et thermique produites par la PEMFC et de la quantité de combustible consommé en fonction du temps a) Ghardaïa, b) Atlanta



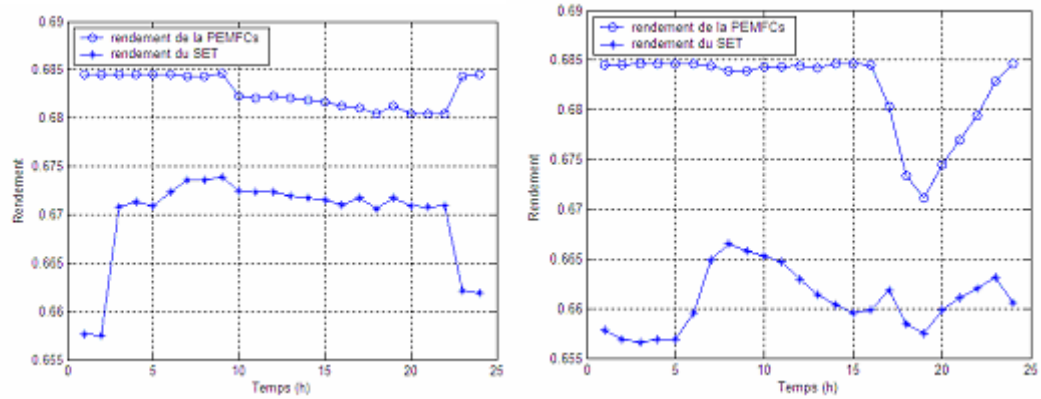
(a) (b)

Figure 4 : L'énergie thermique générée par la PEMFC superposé avec l'évolution des charges thermique de l'habitat a) Ghardaïa, b) Atlanta

La PEMFC doit fournir une énergie électrique et thermique suffisantes pour satisfaire aux besoins énergétiques de notre habitation.

La figure 3 nous montre que de 10h : 00 à 22h : 00 nous avons un besoin thermique qui peut être largement assuré par notre système SET, par contre pour le reste du temps nous remarquons qu'il y'a une forte consommation en énergie thermique, en le comparent avec les résultats de la simulation (figure 4), nous remarquons qu'il y'a un manque qui peut être assuré par le stockage thermique pendant les heures où il y'a un excès de l'énergie thermique. Contrairement à l'énergie électrique qui est assuré toute la journée. A la fin, nous pouvons dire que l'énergie thermique utilisée pour le chauffage de l'eau et de l'espace de l'habitation ainsi que les charges électriques (figure 2) peuvent être assuré par la PEMFC pour le site de Ghardaïa (figure 4-a) et le site d'Atlanta (figure 4-b).

Nous avons tracé le rendement de la cogénération de la PEMFC ainsi que le rendement global de notre système SET appliqué à l'habitation étudiée en fonction du temps pour le régime chaud étudié, les résultats obtenus sont montré sur la figure 5 **[13-15]** :

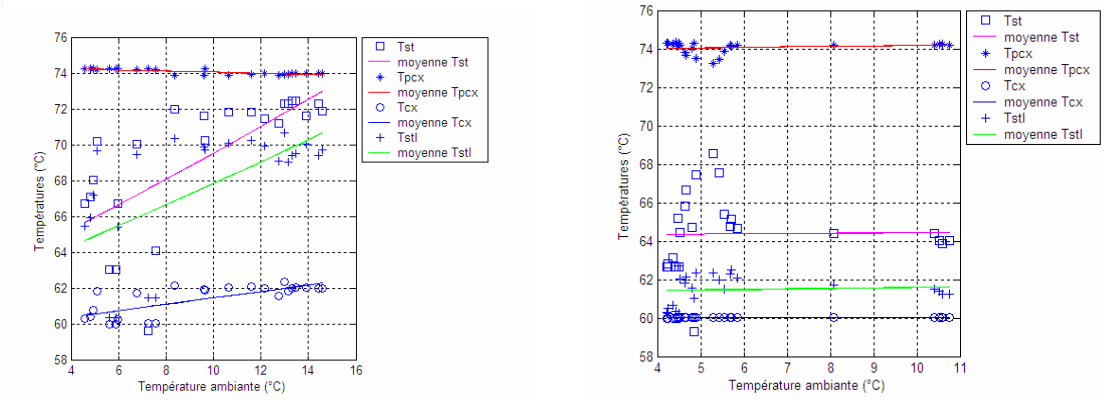


(a) (b)

Figure 4 : Evolution du rendement de cogénération du SET et de la PEMFC en fonction du temps (Site de Ghardaïa (a), b) site d'Atlanta)

Le rendement englobe le rendement thermique et électrique de la PEMFC, il est de l'ordre de 69 % qui est plus ou moins constant et ceci pour les deux sites. Le rendement de tout le système SET est inférieur au rendement de la PEMFC et avoisine les 65%.Dans la figure 6

nous avons tracé la variation des températures minimale du réservoir de stockage thermique (T_{ST}) nécessaire pour chauffer l'eau domestique, la température maximal à qui la production thermique spécifiée de la pile à combustible peut être complètement transféré dans le réservoir thermique T_{PCX} et T_{STL} qui est la limite du T_{ST} où le chauffage de l'espace ne peut pas être assuré à partir du réservoir et la moyenne de chaque température en fonction de la température ambiante.



(a) (b)

Figure5. Evolution des températures critiques des différentes boucles en fonction de la température ambiante (site de Ghardaïa (a), site d'Atlanta (b))

D'après les données prises en considérations nous remarquons dans les résultats que la température du réservoir RST a des variations très considérables. Pour le site d'Atlanta le système appliqué donne des températures moyennes constantes.

Conclusion

Nous pouvons conclure que l'énergie thermique générée par la PEMFC n'a pas la même évolution que les charges thermique de l'habitat et à partir de sa on nous pouvons dire que le stockage thermique joue un rôle très important dans la gestion du chauffage thermique de l'espace.

Nous pouvons dire que le système énergétique SET peut satisfaire parfaitement les demandes en énergies électrique car c'est est un système prometteur vu ses performances par rapport aux systèmes conventionnels ainsi que sa réponse rapide aux fluctuations des charges.

Les résultats comparatifs de la simulation numérique que nous avons obtenu dépendent d'une part de la différence qui existe entre les conditions climatiques du site de Ghardaïa (Algérie) et Atlanta, Georgia USA et d'autre part des différentes charges électriques et thermiques des deux habitation ainsi que le nombre d'heures de consommation relatif à l'éclairage, nous pouvons dire que la consommation en en énergie électrique donc du combustible (CH_4) dans la saison froide diminue car les charges thermique sont assuré à partir du sous système de chauffages thermiques de l'espace et non pas électriquement.

Bibliographies

[1] R. Lazzarin, M. Noro, Local or district heating by natural gas: Which is better from energetic, environmental and economic point of views. *Applied Thermal Engineering* 26 (2006) 244–250.

[2] Dr. Joan M. Ogden, Review of small stationary reformers for hydrogen production. *Rapport de synthèse pour the International Energy Agency Agreement on the Production and Utilization of Hydrogen*, Task 16, Hydrogen from Carbon-Containing Materials, 2002.

[3] Mohamed A. Darwish, Building air conditioning system using fuel cell: Case study for Kuwait. *Applied Thermal Engineering* 2007.

[4] EG and G Technical Services, Inc, Science Applications International Corporation. *Fuel Cell Handbook*. (Sixth Edition), 2002.

[5] M.Weeda, Techno-economique assessment of integrated fuel cell and sorption heat pump systems. *ECN clean fossil fuels*, 2002.

[6] S. Higashiguchi, K. Hirai, N. Shinke, S. Ibe, O. Yamazaki, K. Yasuhara,Hamabashiri, Y. Koyama and T. Tabata, Development of Residential PEFC Cogeneration Systems at Osaka Gas. *Rapports pour Japanese residential market*, 2003.

[7] M.Rubala. *"PEM Fuel Cell Demonstration"*. Midpoint Project Status Report, Southern Maryland Electric Cooperative, Inc, 2003.

[8] Palsson, J, Thermodynamic modelling and performance of combined sold oxide fuel cell and gas turbine systems. *Doctoral thesis*, Lund University, Sweden, KFSAB, Lund, ISBN 91-628-5247-7, 2002.

[9] R. J. Braun, Optimal Design and Operation of Solid Oxide Fuel Cell Systems for Small-scale Stationary Applications. *Thèse de PhD*, University of Wisconsin –Madison, 2002.

[10] EG et G Technical Services, Inc, Science Applications International Corporation, Fuel Cell Handbook. (fifth Edition), 2000.

[11] Silveira, J.L., Leal, E.M. and Ragonha Jr.L.F., Analysis of a molten carbonate fuel cell: cogeneration to produce electricity and cold water. *Energy* 26 (2001) 891-904

[12] Mehmet Burak Gunes, Investigation of a Fuel Cell Based Total Energy System for Residential Applications. *Master of Science in Mechanical Engineering*, Blacksburg, Virginia, USA, 2001.

[13] W.Touafek, S.Larbi, Etude thermique et conception d'un système énergétique à base d'une PEMFC-Application à l'habitat. *12ème JITH*, Tanger, Maroc, 15-17 Novembre 2005.