

## Effet de la forme d'un réacteur d'une machine frigorifique solaire à adsorption sur la distribution de température

F. Bouzeffour <sup>1\*</sup>, B. Khelidj <sup>2†</sup>, M. Abbas <sup>1</sup> et M. Tahar Abbes <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Unité de Développement des Equipements Solaires, UDES  
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER  
Bou Ismail, 42005 Tipaza, Algeria

<sup>2</sup> Laboratoire Fluides Industriels, Mesures et Applications  
Université de Khemis Miliana, Route de Theniet El Had, Khemis Miliana, Algeria

<sup>3</sup> Laboratoire de Mécanique et Energétique  
Université Hassiba Benbouali, Chlef, Algeria

(reçu le 10 Février 2014 – accepté le 25 Septembre 2014)

**Résumé** - Dans cet article, on propose une étude théorique sur les transferts de chaleur dans un générateur-adsorbant contenant le couple charbon actif-méthanol. L'étude porte sur une comparaison de l'évolution de la température à l'intérieur des deux conceptions sous forme tubulaire et rectangulaire par une simulation numérique de l'équation de la chaleur par conduction. La résolution de cette équation par la méthode des différences finies monodimensionnelle avec l'utilisation de Matlab nous a permis de déterminer le champ des températures dans le milieu poreux. Les résultats numériques obtenus montrent un gradient de températures plus important au long de l'épaisseur de charbon actif.

**Abstract** – In this article, we propose a theoretical study about heat transfer in generator-adsorber containing the couple coal asset-methanol. The study is a comparison between the temperature progression inside two tubular and rectangular designs with a numerical simulation of the equation of heat conduction. Solving this equation with the one-dimensional finite difference method with the use of Matlab allowed us to determine the temperature field in porous environments. Numerical results obtained show a higher gradient throughout the thickness of active carbon temperature.

**Mots clés:** Simulation numérique - Transfert thermique - Machine frigorifique à adsorption - Différence finie.

### 1. INTRODUCTION

L'augmentation de la demande énergétique mondiale est inévitable, notamment en raison de la croissance démographique et industrielle des pays en voie de développement. De plus, aucune politique économique et énergétique ne peut aujourd'hui ignorer la question du changement climatique liée en partie aux émissions de gaz à effet de serre.

Face à ces constats, le recours à des sources d'énergie à la fois renouvelables et moins agressives pour l'environnement que les sources fossiles s'avèrent incontournables pour permettre un développement énergétique durable pour les générations futures.

Afin d'apporter notre contribution à cet effort, nous nous sommes intéressés à la réfrigération solaire à adsorption.

---

\* bofateh@gmail.com , abbasdreams@gmail.com

† b.khelidj@orange.fr , taharabbes@yahoo.fr

Cette dernière peut apporter des solutions durables pour la conservation des denrées alimentaires et des produits pharmaceutiques. Plusieurs chercheurs ont expérimenté la technique de réfrigération à adsorption [1-4]. L'avantage essentiel de ces systèmes à fonctionnement intermittent est la simplicité de leur conception.

Le travail que nous présentons ici est relatif à un réfrigérateur à adsorption utilisant deux réacteurs de conceptions différentes contenant le couple charbon actif-méthanol.

Un modèle mathématique a été développé, basé sur l'équation de la conservation d'énergie. Il a pour objectif d'analyser et de représenter les phénomènes de transfert de chaleur dans le milieu poreux à partir des conditions initiales et des conditions aux limites, ainsi que la connaissance de propriétés thermo-physiques du matériau et la géométrie du système.

## 2. CONCEPTION DU REACTEUR

Nous proposons dans ce travail une étude théorique de la distribution de la température dans le lit adsorbant (charbon actif), relatif à deux formes géométriques du réacteur d'une machine frigorifique à adsorption.

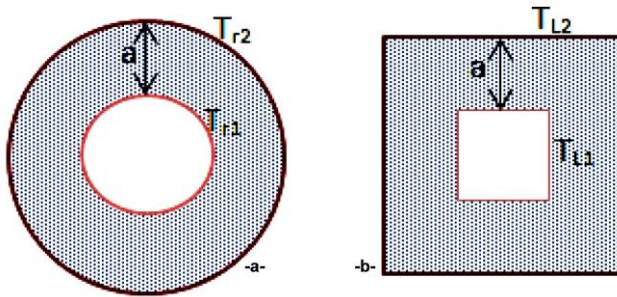


Fig. 1: Schéma de l'adsorbant  
-a- réacteur cylindrique, -b- réacteur rectangulaire

## 3. MODELISATION MATHÉMATIQUE

### 3.1 Hypothèses de la modélisation

Le modèle développé dans ce travail est soumis aux conditions restrictives suivantes:

- Le transfert de chaleur par conduction est unidimensionnel dans les deux réacteurs cylindrique et rectangulaire.
- La structure de milieu poreux est supposée homogène.
- Les grandeurs physiques caractéristiques sont constantes.
- Les sources internes de chaleur et les pertes de charges sont négligeables.
- La température de la surface extérieure des deux types de réacteur est supposée uniforme ( $T_{r2} = T_{L2}$ ).
- Les deux surfaces de charbon actif sont identiques ( $S_{ch1} = S_{ch2}$ ).

### 3.2 Equation différentielle de la conduction

Pour déterminer le champ de température dans un corps qui subit un transfert thermique par conduction, il faut établir une relation entre les propriétés et les paramètres impliqués dans le phénomène.

L'équation aux dérivées partielles de la conduction a été établie à partir du principe général de conservation de l'énergie.

Dans un système de coordonnées cartésiennes unidimensionnel, l'équation de la conduction de la chaleur s'écrit sous la forme:

$$\rho_{ac} \times C_{p.ac} \times \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \times \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) \tag{1}$$

Dans un système de coordonnées cylindriques unidimensionnel, l'équation de la conduction de la chaleur s'écrit sous la forme:

$$\rho_{ac} \times C_{p.ac} \times \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \times \frac{1}{r} \times \frac{\partial}{\partial r} \left( r \times \frac{\partial T}{\partial r} \right) \tag{2}$$

### 3.3 Résolution numérique des équations aux dérivées partielles par la méthode des différences finies

Les méthodes numériques sont très utiles pour la résolution des problèmes de mécanique des fluides, de transfert de chaleur.

Les méthodes des différences finies sont parmi les méthodes numériques les plus utilisées dans la résolution des équations différentielles aux dérivées partielles de transfert de chaleur.

La méthode des différences finies consiste à transformer l'équation différentielle de la conduction en un système linéaire d'équations algébriques [5].

On obtient:

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \frac{\lambda}{\rho_{ac} \times C_{p.ac}} \times \left( \frac{T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n}{\Delta x^2} \right) \tag{3}$$

Dans un système de coordonnées cylindriques, l'équation différentielle (2), représentée sous forme de différences finies, peut s'écrire comme suit:

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = \frac{\lambda}{\rho_{ac} \times C_{p.ac}} \times \left( \frac{1}{r} \times \left[ \frac{T_{i-1}^n - T_{i+1}^n}{2\Delta r} \right] + \left[ \frac{T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n}{\Delta r^2} \right] \right) \tag{4}$$

Avec:

$$r_1 < r < r_2, \quad r = i \times \Delta r, \quad a, \text{ distance en (m) est égale à- } (r_2 - r_1)$$

Lorsque les conditions limites sont déterminées, le nombre d'équations de différences finies (3 et 4) devient égal au nombre de nœuds de températures inconnues.

Les grandeurs physiques caractéristiques  $\lambda$ ,  $\rho$  et  $C_p$  sont constantes et sont données par [6, 7].  $\lambda$  est la conductivité thermique du charbon actif, égal (1.06 W.m/K);  $\rho$ , la masse volumique du charbon actif, (500 kg/m<sup>3</sup>) et  $C_p$ , la chaleur spécifique du charbon actif, (805 J/kg.K).

Pour la discrétisation du domaine 'a', on introduit un pas ( $\Delta x = \Delta r$ ) d'espace et un pas de temps  $\Delta t$ , et on définit les nœuds d'un maillage régulier comme il est présenté sur la figure 2.

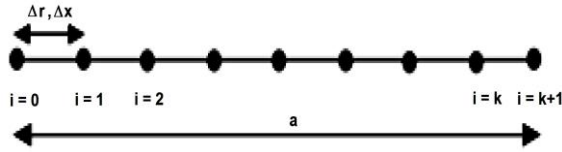


Fig. 2: Système de maillage de domaine

#### 4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Pour la résolution du système d'équations précédent, nous avons utilisé la méthode des différences finies. Le chauffage de l'adsorbant est assuré totalement par les surfaces extérieures des deux types de réacteur à des températures identiques ( $T_{r2} = T_{L2}$ ).

Les résultats des simulations numériques nous ont permis de représenter les profils de la température, à l'intérieur de l'adsorbant en fonction de la distance 'a' dans les deux formes de réacteur, (Fig. 3 et 4).

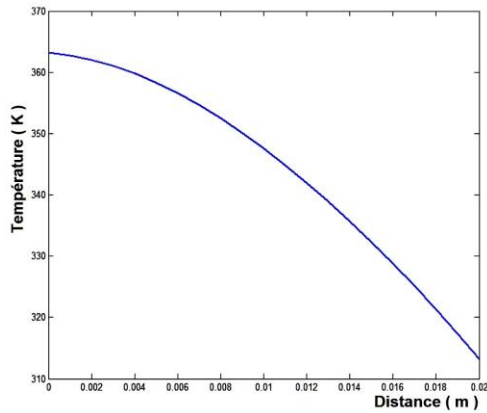


Fig. 3: Evolution de la température dans le réacteur cylindrique en fonction de la distance 'a'

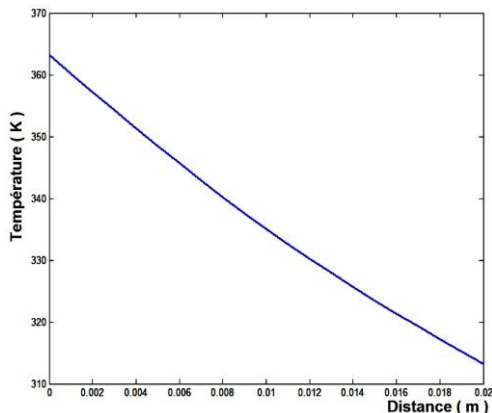


Fig. 4: Evolution de la température dans le réacteur rectangulaire en fonction de la distance 'a'

Les figures 5 et 6 montrent le champ de température à l'intérieur des deux réacteurs contenant le milieu poreux en fonction du temps. Nous avons constaté qu'un gradient de température est plus important dans le réacteur cylindrique que dans le réacteur rectangulaire.

Ces figures montrent également l'impact de la forme du réacteur sur la distribution de température dans le milieu poreux.

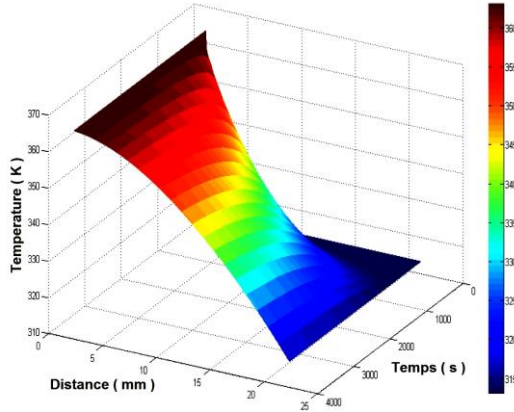


Fig. 5: Champ de température dans le réacteur cylindrique en fonction du temps

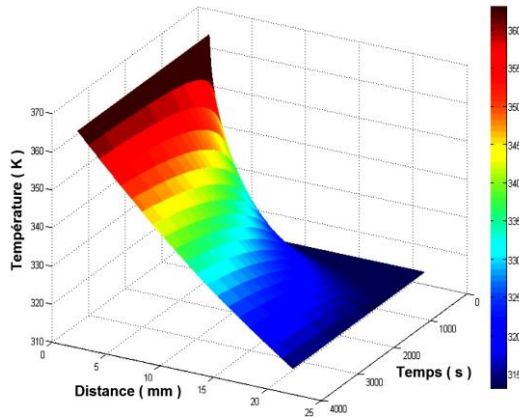


Fig. 6: Champ de température dans le réacteur rectangulaire en fonction du temps

## 5. CONCLUSION

La température est le principal paramètre qui à priori doit être étudié pour caractériser les machines frigorifiques à adsorption. Dans ce travail, nous avons présenté une étude de modélisation de transfert de chaleur dans l'adsorbent.

Les résultats des calculs numériques obtenus nous ont permis de voir la distribution de la température dans le milieu poreux et aussi d'évaluer et explorer la sensibilité de la forme de réacteur sur la performance de la machine étudiée.

D'après la simulation numérique, on a constaté que le gradient de température dans le réacteur cylindrique est plus important que dans le réacteur rectangulaire.

**REFERENCES**

- [1] K. Sumathy and L.I. Zhongfu, '*Experiments with Solar-Powered Adsorption Ice-Maker*', Renewable Energy, Vol. 16, N°1, pp. 704 - 707, 1999.
- [2] M. Li, H.B. Huang, R.Z. Wang, L.L. Wang, W.D. Cai and W.M. Yang', '*Experimental Study on Adsorbent of Activated Carbon with Refrigerant of Methanol and Ethanol for Solar Ice Maker*', Renewable Energy, Vol. 29, N°15, pp. 2235 - 2244, 2004.
- [3] I.I. El-Sharkawy, B.B. Saha, S. Koyama, J. He, K.C. Ng and C. Yap, '*Experimental Investigation on Activated Carbon–Ethanol Pair for Solar Powered Adsorption Cooling Applications*', International Journal of Refrigeration, Vol. 31, N°8, pp 1407 - 1413, 2008.
- [4] N.M. Khattab, '*A Novel Solar-Powered Adsorption Refrigeration Module*', Applied Thermal Engineering, Vol. 24, N°17-18, pp 2747 – 2760, 2004.
- [5] M.N.O. Sadiku, '*Numerical Techniques in Electromagnetics*', Second Edition, CRC Press, USA, 2001.
- [6] R.E. Critoph and L. Turner, '*Heat Transfer in Granular Activated Carbon Beds in the Presence of Adsorbable Gases*', International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 38, N°9, pp. 1577 - 1585, 1995.
- [7] Li Yong and K. Sumathy, '*Modeling and Simulation of a Solar Powered Two Bed Adsorption Air Conditioning System*', Energy Conversion and Management, Vol. 45, N°17, pp. 2761 - 2775, 2004.