Etude numérique du transfert de chaleur et de masse dans un réacteur d'une machine frigorifique à adsorption d'ammoniac sur charbon actif, chauffé à l'aide d'un caloduc, couplé avec un cylindro-parabolique

Abdellah El Fadar, Abdelaziz Mimet, Aniss Azzabakh, Manuel Perez Garcia, Jean Castaing

▶ **To cite this version:**

Abdellah El Fadar, Abdelaziz Mimet, Aniss Azzabakh, Manuel Perez Garcia, Jean Castaing. Etude numérique du transfert de chaleur et de masse dans un réacteur d'une machine frigorifique à adsorption d'ammoniac sur charbon actif, chauffé à l'aide d'un caloduc, couplé avec un cylindro-parabolique. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00164676

HAL Id: hal-00164676
https://hal.science/hal-00164676

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.

ÉTUDE NUMERIQUE DU TRANSFERT DE CHALEUR ET DE MASSE DANS UN RÉACTEUR D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE À ADSORPTION D'AMMONNIAC SUR CHARBON ACTIF, CHAUFFÉ À L'AIDE D'UN CALODUC, COUPLÉ AVEC UN CYLINDRO-PARABOLIQUE

Abdellah EL FADAR[1], Abdelaziz MIMET[1,*], Aniss AZZABAKH[1], Manuel PEREZ GARCIA[2], Jean CASTAING[3]

[1] Laboratoire d'Energétique, Faculté des sciences. BP 2121, 93000 Tétouan. Maroc.

[2] Dpto. de Fisica Aplicada – Universidad de Almeria. Espagne.

[3] Laboratoire Thermique, Energétique et Procédés (LaTEP) Avenue de l'Université BP 1155 64013 Pau Cedex France.

mimet@fst.ac.ma; aelfadar@yahoo.fr;

Résumé- Cet article propose une étude d'une machine frigorifique à adsorption fonctionnant par l'énergie solaire, le réacteur contenant le couple (charbon actif / ammoniac) est chauffé moyennant un caloduc couplé avec un concentrateur cylindro-parabolique solaire.

Ainsi nous avons développé un modèle théorique basé sur les équations de conservation d'énergie et de masse pour analyser et représenter les phénomènes de transfert de chaleur et de masse dans le milieu poreux. Aussi un programme simulant le fonctionnement de la machine étudiée a été mis au point ce qui nous a permis de calculer, pour un flux de chaleur donné et à chaque instant, la température, la pression ainsi que la masse adsorbée à chaque point de l'adsorbeur. Le coefficient de performance solaire a été étudié en utilisant un modèle théorique.

Mots-clés: Milieu poreux, machine frigorifique à adsorption, caloduc, concentrateur cylindro-parabolique.

1. INTRODUCTION

Les machines frigorifiques à sorption représentent une alternative prometteuse pour pallier aux problèmes environnementaux liés à l'utilisation des machines à compression de vapeur: car tous les fluides y utilisés ne contribuent pas à la dégradation de notre environnement et aussi pour remédier au problème de disponibilité d'énergie qui constitue un vrai souci notamment pour les pays du tiers monde.

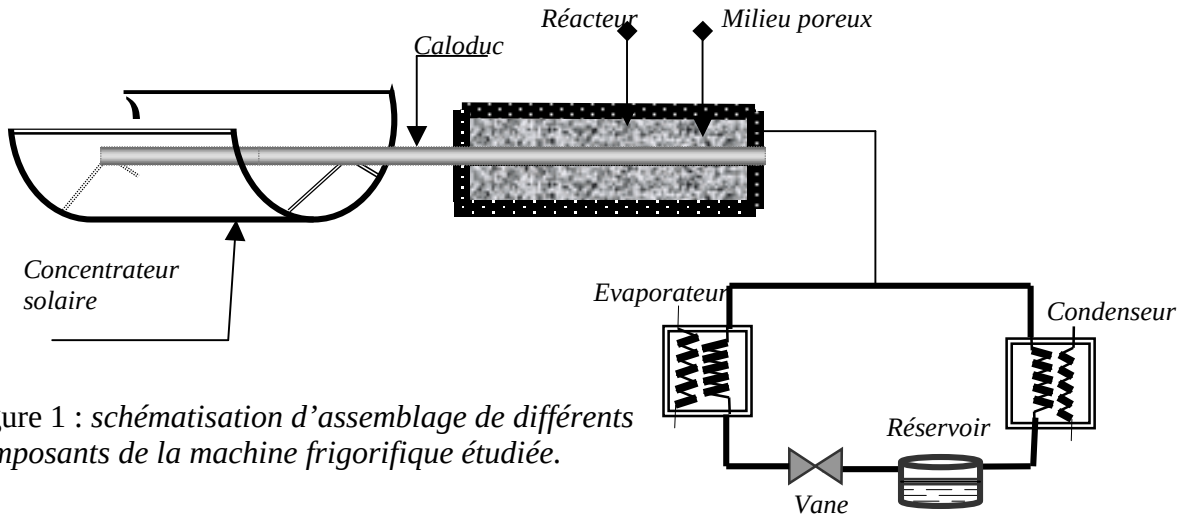


Figure 1 : *schématisation d'assemblage de différents composants de la machine frigorifique étudiée.*

Le problème majeur des machines frigorifiques à adsorption est le mauvais transfert de chaleur ; et en vue d'améliorer ces transferts une conception comportant L'assemblage caloduc-concentrateur cylindro-parabolique a été proposée dans ce travail, figure 1, cette machine a aussi l'avantage d'être énergétiquement autonome.

Le caloduc choisi (acier doux - eau), est placé dans la ligne focale du concentrateur, il permet de prélever de la chaleur depuis la source chaude et de la redistribuer à son condenseur où la vapeur du fluide de fonctionnement se condense en libérant sa chaleur latente à la source froide (milieu poreux).

2. MODÉLISATION MATHÉMATIQUE

2.1. Hypothèses de la modélisation

Le modèle développé dans ce travail est soumis aux conditions restrictives suivantes [1] [2],

1. Les pertes de charges sont négligeables dans le milieu poreux.
2. Les trois phases sont considérées comme étant, en chaque point et à chaque instant, en équilibre thermodynamique et le milieu poreux pourrait être remplacé par un milieu continu équivalent.
3. Le transfert de chaleur est unidimensionnel suivant le rayon du réacteur cylindrique.
4. La température de vapeur du caloduc est supposée uniforme.
5. le transfert thermique est purement conductif dans la structure capillaire supposée saturée en eau, la conductivité thermique effective a été évaluée [3].

2.2. Mise en équations du modèle :

2.2.1 Équation du bilan d'énergie à la surface extérieure du caloduc (évaporateur)

$$m_t.c_{p,t}.\partial T_t / \partial t = \alpha_t.\eta_c.I.S_c + h_{r,t-c}S_c(T_c - T_t) + h_{cv,t-a}S_t(T_a - T_t) \qquad (1)$$

2.2.2 Équations du transfert de chaleur et de masse

Les équations de transfert couplées de chaleur et de masse dans le milieu poreux sont déterminées en faisant un bilan d'énergie et de masse de l'adsorbat sur une tranche de ce milieu poreux, d'épaisseur dr, Les équations obtenues s'écrivent comme suit [4] :

$$A(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_e\left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)\right] + B(T)$$

$$A(T) = (1-\varepsilon)\rho_s c_s + (\varepsilon - \alpha)\rho_g c_g + \alpha\rho_a c_a \qquad (2)$$

$$B(T) = \frac{\partial}{\partial t}\left((\varepsilon - \alpha)\rho_g\right)\frac{p}{\rho_g} + \frac{1}{V_T}\frac{\partial m_a}{\partial t}\frac{p}{\rho_a} + \Delta H_{ads}\frac{1}{V_T}\frac{\partial m_a}{\partial t}$$

2.2.3. Equation d'état : m= f (T, P)

Le modèle descriptif de l'adsorption que nous avons choisi pour cette modélisation est celui de BRUNAUER, EMMET et TELLER (B.E.T). [4],[5].

2.2.4. Conditions initiale et aux limites

Initialement, La répartition de la température est supposée uniforme dans le milieu poreux**.**

- r = R 1 $$-\lambda_e \left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{r=R_1} = h_{gl}\left(T_{ca} - T\right) \quad (3)$$
- r = R 2 $$\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{r=R_2} = 0 \quad (4)$$

Avec h_{gl} le coefficient d'échange thermique entre la vapeur du caloduc et le milieu poreux, la résistante thermique R_{gl} correspondante est donnée par:

$$R_{gl} = 1/2\pi L_c . \left[\frac{\ln(R_1 / R_e)}{\lambda_t} + \frac{\ln(R_e / R_v)}{\lambda_{eff}} + \frac{1}{h_c . R_1}\right] \quad (5)$$

L_c étant la longueur de partie condenseur du caloduc et h_{cv} est le coefficient d'échange thermique convectif entre le caloduc et le milieu poreux (évalué expérimentalement par A.Mimet [4]).

2.3. Coefficient de performance solaire

L'expression du coefficient de performance solaire (COPs) du système est donnée par :

$$Q_f = \Delta m \left[L\left(T_{ev}\right) - \int_{T_{ev}}^{T_{con}} C_{p,l}\, dT\right] \quad (6)$$

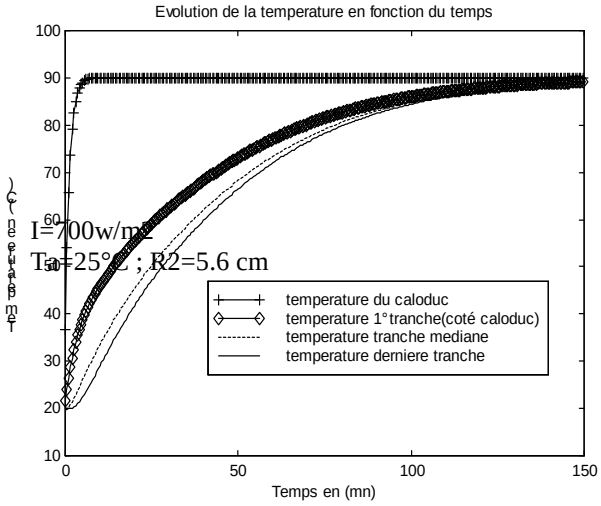
$$COP_s = \frac{Q_f}{\int S_c . I(t) . dt} \quad (7)$$

Q_f est la quantité de froid produite à l'évaporateur.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Pour la résolution du système d'équations précédent nous avons utilisé la méthode de différences finies basée sur le schéma implicite. Les corrélations calculant les coefficients d'échange thermique ont été prises de la littérature.

Les résultats de la simulation numérique nous ont permis de représenter, durant la phase du chauffage, les profils de la température, la masse adsorbée ainsi que la pression à l'intérieur de l'adsorbeur en fonction du temps, figures 2, 3.



I=700w/m2
Ta=25°C ; R2=5.6 cm

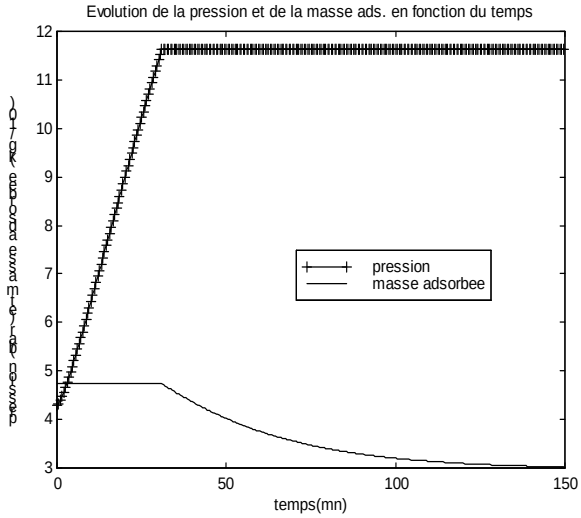


Figure 2*: profil de la Température dans le réacteur.*

Figure 3*: profil de la pression et de la masse adsorbée.*

Les figures 4-5 montrent que le coefficient de performance augmente avec la température d'évaporation, et diminue lorsque la température de condensation augmente.

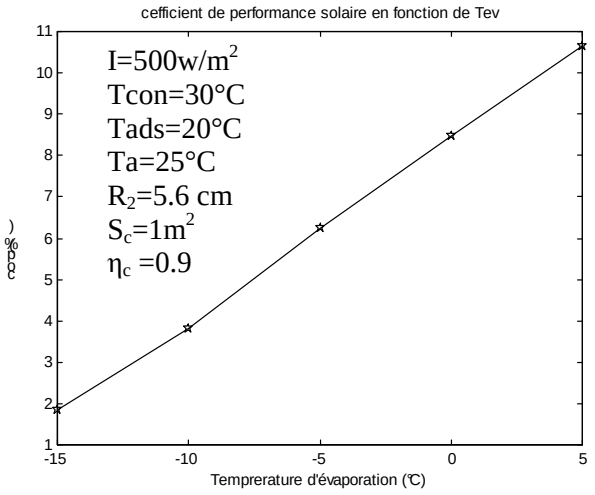


Figure 4*: Impact de la température d'évaporation sur le COPs.*

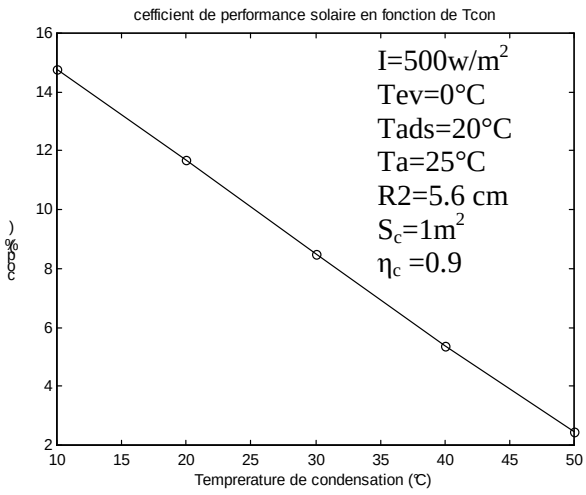
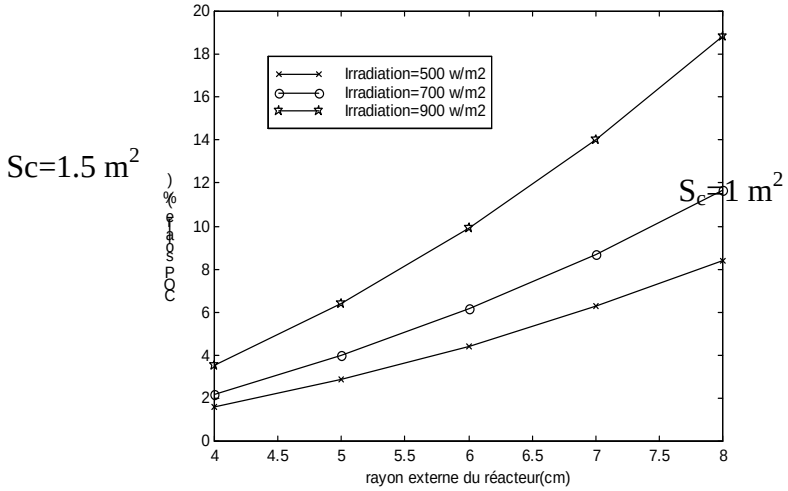
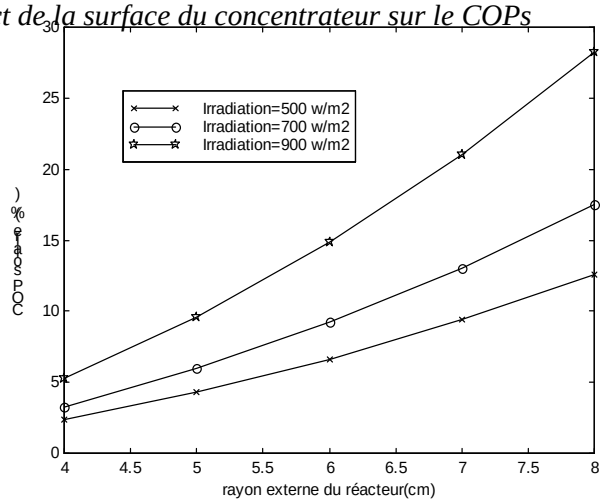
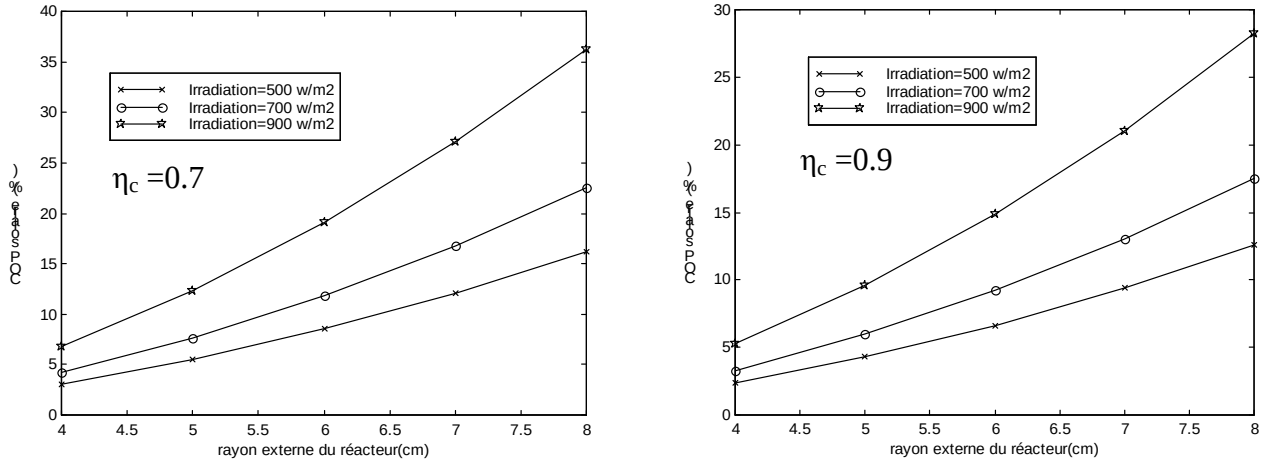


Figure 5*: Relation entre la température de condensation et le COPs.*



Figures 6-7 *: Impact de la surface du concentrateur sur le COPs*





Figures 8-9 *: Impact du rendement du concentrateur sur le COPs*

Les résultats de simulation montrent également que le coefficient de performance augmente avec le rayon externe du réacteur, ceci peut être interprété par l'augmentation de la masse cyclée du réfrigérant dans la machine frigorifique. Le COPs diminue lorsque la surface et le rendement du concentrateur augmentent, figures 6, 7, 8, 9.

4. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons présenté une étude de modélisation de transfert de chaleur et de masse au sein de l'adsorbeur d'une machine frigorifique à adsorption. Une simulation numérique a été réalisée pour calculer la température et la pression dans le réacteur ainsi que la masse adsorbée de l'ammoniac et aussi pour évaluer le coefficient de performance solaire et explorer sa sensibilité en fonction des conditions de fonctionnement de la machine étudiée.

Les résultats obtenus ont mis en évidence l'existence d'un gradient de température et de masse à l'intérieur du réacteur (charbon actif / ammoniac) et ont montré qu'il y a des choix à tenir en compte pour les différents paramètres de fonctionnement de la machine étudiée pour améliorer ses performances.

Nomenclature

C_p Capacité calorifique, *J/kg.k*
COPs Coefficient de performance solaire
h Coefficient d'échange thermique, $w/m^2.k$
I Puissance thermique solaire, w/m^2
L_{Tev} Chaleur latente d'évaporation, *J/kg*
m Masse, *kg*
P Pression, *bar*
t Temps, *s*
T Température, *K*
T_{ca} Température du caloduc, *K*
T_{con} Température de condensation, *K*
T_{ev} Température d'évaporation, *K*
R_1 Rayon externe du caloduc, *m*
R_e Rayon externe de la mèche, *m*
R_v Rayon d'espace annulaire de vapeur, *m*
R_2 Rayon externe du réacteur, *m*
S_c Surface du concentrateur, m^2
V_T Volume total d'une tranche, m^3

Symboles grecs
α Fraction volumique adsorbée
α_t Absorptivité du tube métallique
ε Porosité du lit poreux
η_c Rendement du concentrateur
λ Conductivité thermique, *w/m.K*
ρ Masse volumique, kg/m^3
ΔH_{ads} Chaleur latente d'adsorption, *J/kg*
Δm Masse cyclée d'ammoniac, *kg*

Exposants, Indices
a adsorbé, ambiant
e équivalente
eff effective (mèche+liquide)
g gaz
t tube métallique
c concentrateur
l liquide
s solide

Références

[1] F. Aghbalou, A. Mimet, F. Badia, J. Illa, A. El Bouardi, J. Bougard, "Heat and mass transfer during adsorption of ammonia in a cylindrical adsorbent bed: thermal performance study of a combined parabolic solar collector, water heat pipe and adsorber generator assembly ", Applied Thermal Engineering, 2537-2555, 24(2004)
[2] M.Bakkas et al, "Modélisation et simulation du transfert de chaleur et de masse à l'intérieur d'un réacteur de charbon actif réagissant avec de l'ammoniac couplé à un caloduc annulaire à eau ". Rev.Energ.Ren : Journées de thermiques (2001).
[3] P.D. Dunn and D.A., Reay, Heat pipes, 3rd edn. Pergamon Press, New York 1982.
[4] A. Mimet, 'Etude Théorique expérimentale d'une Machine Frigorifique à Adsorption d'Ammoniac sur Charbon Actif ', Thèse de Doctorat (1991).
[5] A .MAHAMANE 'Etude de l'adsorption de vapeur sur solide poreux, Adaptation de la théorie des solutions', Thèse de Doctorat (1988), FPMs Mons Belgique.