



Expérimentation d'une installation frigorifique à adsorption équipé d'un générateur à éléments interchangeables

B. Khelidj, F. Bouzeffour, B. Abderezzak
Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, Laboratoire FIMA, Algérie
Email : b.khelidj@orange.fr
bofateh@gmail.com
bilal.abderezzak@hotmail.fr

Résumé : Ce travail est consacré à l'expérimentation d'une installation frigorifique à adsorption équipé d'un générateur à éléments interchangeables. Ce dernier est un échangeur de chaleur pouvant fonctionner avec différents couples comme le « Silicagel / eau » ou « Zéolite / eau ». La recherche d'un système de production de froid solaire, plus performant et non polluant à partir de l'énergie solaire thermique, passe aussi par des travaux d'innovation sur le générateur contenant l'adsorbant. C'est la raison pour laquelle nous avons conçu, réalisé et testé un prototype de réfrigérateur solaire innovant. D'autre part notre installation a été réalisée, dans le but de construire un banc d'essai pédagogique qui peut servir aux travaux pratiques des étudiants en énergétique ou tout simplement pour faire de la recherche scientifique. Les premiers tests réalisés sur notre prototype montrent que notre système fonctionne et que les résultats expérimentaux des essais, obtenus dans les conditions météorologiques réelles de la région de Khemis Miliana et de ses environs, sont convaincants.

Mots clés : Energie solaire, installation frigorifique, froid solaire, couple adsorbant / adsorbat, Energie renouvelable

1. Introduction

En raison de la croissance démographique et industrielle des pays en voie de développement, l'augmentation de la demande énergétique mondiale est inévitable. 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 incontournable pour permettre un développement énergétique durable pour les générations futures.

Parmi les procédés de transformation thermique de l'énergie solaire, il y a lieu de citer la réfrigération solaire qui se présente comme la meilleure application dans le stockage de denrées alimentaires et de produits pharmaceutiques. En tenant compte de l'énergie solaire que reçoivent les pays du sud, il est nécessaire et important d'exploiter cette ressource notamment dans le domaine de la production du froid.

Sur le plan de l'intérêt scientifique, nombreux sont les chercheurs qui ont expérimentés la technique de réfrigération solaire [1,2]. L'avantage essentiel de ces systèmes à fonctionnement intermittent est la simplicité de leur conception ainsi que leur totale autonomie énergétique pendant la phase de production de froid. De plus, utilisant des fluides autres que les C.F.C., ils n'affectent nullement l'environnement.

Dans le domaine du froid solaire par adsorption, différents types de couple adsorbant - adsorbat ont été pris en considération; zéolithe - eau [3], [4] et gel de silice - eau [5], [6] sont utilisées pour le stockage du froid. Le charbon actif- méthanol [7], [8] et le charbon actif - ammoniac [9], [10] sont utilisés pour la production de la glace.

Plusieurs études [11], [12], [13], [14] et [15] ont été menées sur la performance d'un réfrigérateur solaire à adsorption. La caractéristique commune de ces unités, est leur faible coefficient de performance (COP). Il est de l'ordre de 10%. Cette mauvaise performance a été diversement attribuée soit à une mauvaise conception soit à une inappropriée analyse thermique du système.

2. Phénomène d'adsorption

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide appelé adsorbant.

L'exo-thermicité d'un système d'adsorption est caractérisée par les chaleurs d'adsorption qui peuvent être mesurées par des techniques calorimétriques ou estimées à partir des isothermes d'adsorption à différentes températures.

Le choix du couple adsorbant-adsorbat est très important. Il se fait en fonction des niveaux de température de l'utilisation frigorifique envisagée (réfrigération, conservation des aliments ...).

Les adsorbants sont souvent choisis en fonction de leurs capacités d'adsorption et leurs fortes conductivités thermiques. Les adsorbants utilisés sont les suivants : charbon actif, zéolites, gel de silice.

Le choix de l'adsorbat est fait de sorte qu'il doit avoir une forte chaleur latente de vaporisation. Les couples utilisés dans quelques réalisations de machines frigorifiques à adsorption solide sont le charbon actif - méthanol, charbon actif - éthanol, silicagel - eau.

3. Description d'un système à adsorption

D'une manière plus générale, un système à adsorption, utilisé pour produire du froid, comprend essentiellement (fig.1):

- Un capteur (générateur adsorbant) contenant le silicagel et le fluide réfrigérant appelé adsorbat.
- Un condenseur, permettant la condensation du réfrigérant provenant du capteur.
- Une chambre froide, contenant l'évaporateur.

Dans cette machine, l'énergie solaire peut-être directement absorbée par le réacteur adsorbant (contenant l'adsorbant solide) situé à l'intérieur du capteur solaire.

Le phénomène d'adsorption d'un fluide frigorigène par un corps solide (charbon actif, silicagel,...), placé dans le générateur à adsorption, est à l'origine de l'évaporation du liquide dans l'évaporateur. Il joue le rôle d'une pompe à vide pour faire baisser la pression et donc favoriser l'évaporation du réfrigérant et par la suite la production du froid.

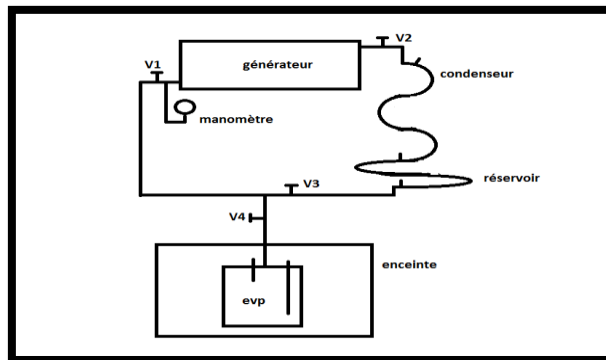


Fig.1 Schéma d'une Machine Frigorifique Solaire à Adsorption

Le cycle à adsorption, caractérisé par la fixation des molécules d'adsorbat à la surface d'adsorbant, est découpé en quatre phases comme le montre la figure (2). Ces phases sont : l'échauffement de l'adsorbant (AB), la désorption (BC), le refroidissement de l'adsorbant (CD) et enfin l'adsorption (DA).

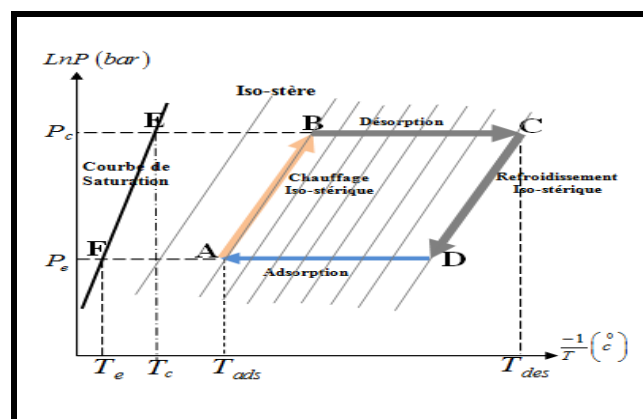


Fig.2 Cycle du Réfrigérateur Solaire à Adsorption.

Le générateur contenant le couple silicagel - eau est chauffé par le rayonnement solaire jusqu'à une température limite de désorption T_{des} . L'adsorbat s'évapore et se condense dans le condenseur à la température T_c correspondant à la pression de saturation de l'adsorbat.

Pendant la nuit le refroidissement du générateur commence. La pression diminue sous l'effet du refroidissement iso-stérique jusqu'à sa valeur P_e , égale à celle de l'évaporateur. La phase d'adsorption - évaporation se termine à l'équilibre au point (A).

4. Conception du générateur

Le capteur solaire est un système thermique qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique, la chaleur reçue de cette conversion est utilisée soit directement (cas de chauffage), soit elle-même convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire des cycles thermodynamiques. Il est formé principalement des éléments suivants (Fig. 3):

- Une couverture transparente
- Une surface absorbante
- Un isolant thermique
- Un coffret de protection

L'élément innovant dans notre installation est le générateur qui est composé de plusieurs tubes rassemblés par groupe de trois tubes coaxiaux. Le Silica-gel est placé dans l'espace formé par les deux tuyaux intérieurs. Ces derniers sont perforés permettant ainsi à la vapeur d'eau d'être adsorbée la nuit par le Silica-gel et désorbée le jour.

Ce nouveau type de générateur a été réalisé dans le but d'augmenter la surface d'échange de l'adsorbant avec l'adsorbat pour ainsi améliorer le Cop de la machine.

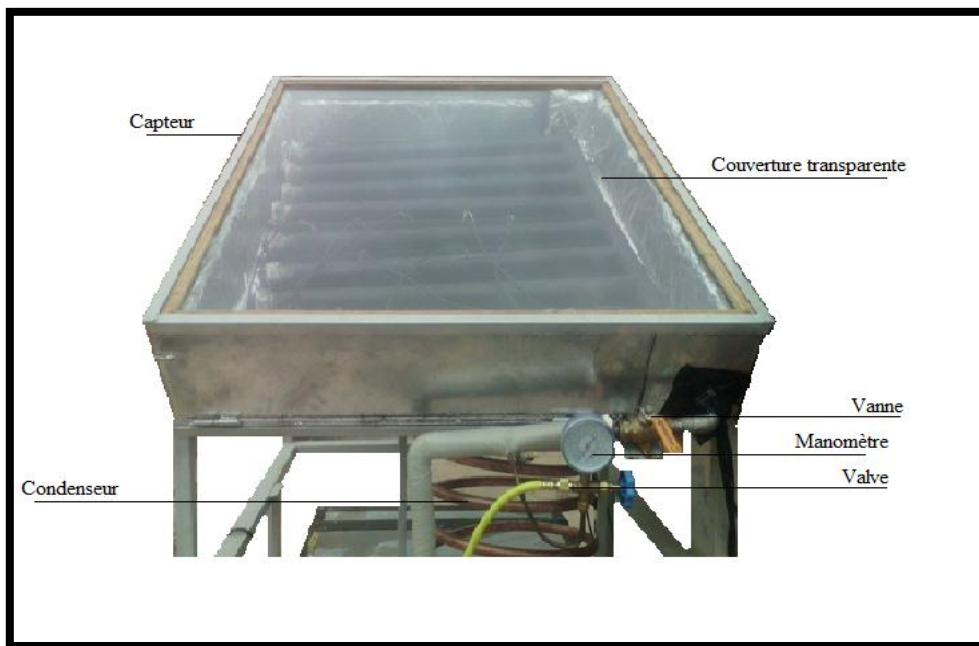


Fig.3 –Photo du générateur solaire à adsorption

Notre capteur comporte plusieurs rangées de trois tubes coaxiaux. Les tubes extérieurs sont peints en noir pour augmenter l'absorptivité à leur surface.

Les tubes coaxiaux, (Fig.4), sont percés et enveloppés avec une grille de telle sorte qu'elle laisse pénétrer les vapeurs d'eau, sans que les grains du silicagel y pénètrent.

L'ensemble, des tubes coaxiaux, se termine par un bouchon qui a pour rôle la fermeture du système après le remplissage de l'adsorbant. Cette technique permet entre autre l'interchangeabilité des couples adsorbant / adsorbat.

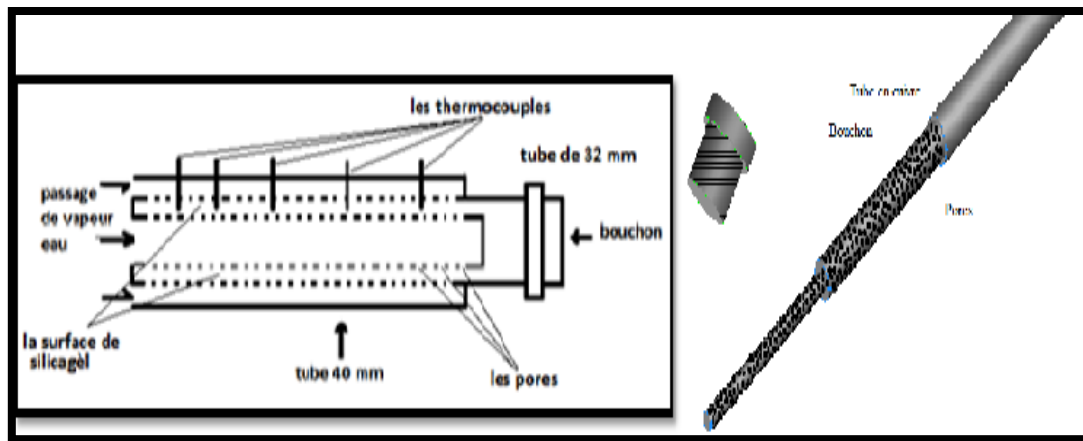


Fig.4 Les tubes coaxiaux

À noter qu'une isolation permanente sur les côtés du capteur adsorbent, et une isolation mobile ont été conçues sur le côté inférieur du capteur, afin de pouvoir refroidir rapidement les tubes lors de la phase d'adsorption.

5. Résultats expérimentaux

Une bonne adsorption ou désorption doit s'effectuer en l'absence de tout gaz autre que l'adsorbant vapeur. Le rendement de la machine sera affecté dans le cas contraire. Il est donc nécessaire de s'assurer de l'étanchéité parfaite du circuit.

Les résultats expérimentaux sont relatifs à l'évolution de la température dans les différents éléments composant l'installation frigorifique à adsorption solaire, testée sous les conditions climatiques réelles du site de Khemis Miliana.

Pour illustrer le fonctionnement de notre machine frigorifique à adsorption solaire dans le climat de Khemis-Miliana et ses environs, nous avons choisi deux dates de la séquence du mois de Mai 2016.

Les différentes températures maximales relevées le jour pour deux dates de la séquence du mois de Mai, sont dressées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Relevé des températures maximales pour deux jours du mois de Mai

Date	T_{amb} (°C)	T_g (°C)	T_{silic} (°C)	T_{cond} (°C)	Etat du ciel
13/5/2016	28	65	76	32	Passages nuageux de temps en temps
17/5/2016	31	88	102	33	Jour clair

Les différentes températures maximales relevées la nuit pour deux dates de la séquence du mois de Mai, sont dressées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Relevé des températures minimales pour deux nuits du mois de Mai

Date	T_{amb} (°C)	T_{ev} (°C)	T_{ch} (°C)	Etat du ciel
13/5/2016	21	11	13	Passages nuageux de temps en temps
17/5/2016	20	4	10	Nuit claire

Sur la figure (5), nous avons représenté l'évolution des températures, au niveau du Silica-gel et en différents points, en fonction du temps. Nous remarquons sur cette figure que la température dans le Silica-gel

est pratiquement uniforme et que dans l'ensemble cette température est nettement supérieure à la température du milieu extérieur.

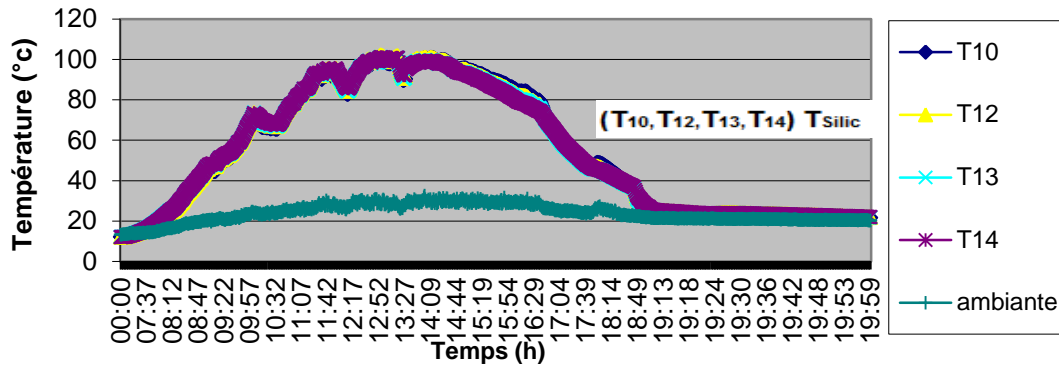


Fig.5: Evolution de la température du Silica-gel

Les courbes des températures, obtenues sur une période de 12 heures sur une journée peu ensoleillée, en été relevées à l'aide d'un data logger.

Les températures relevées sont l'image des quantités de chaleur emmagasinées dans le générateur. Ces quantités de chaleur servent à la désorption du Silica-gel pendant la journée. Nous remarquons sur cette figure que la température dans le Silica-gel augmente puis diminue en passant par un maximum. Ceci montre que le phénomène de désorption est endothermique.

Conclusion

L'intérêt majeur des machines frigorifiques à adsorption est la possibilité offerte par l'utilisation de l'énergie calorifique à bas niveau thermique comme source de chaleur.

Ce travail nous a permis de mieux comprendre les phénomènes mis en jeu dans un système de réfrigération solaire adsorption utilisant le couple silicagel / eau. Il constitue une contribution aux recherches consacrées à l'optimisation d'une machine solaire à adsorption.

D'autre part les résultats expérimentaux obtenus, nous ont permis de voir l'évolution de la température aux niveaux des différents composants du système de réfrigérateur solaire à adsorption.

Nomenclature

Symbole	Nom, <i>unité</i>	Indices
Pc	pression de condensation, mbar	(AB) échauffement de l'adsorbant
Pe	pression d'évaporation, mbar	(BC) désorption
Tc	température de condensation, °C	(CD) refroidissement de l'adsorbant
Te	température d'évaporation, °C	(DA) adsorption
Tads	température d'adsorption, °C	
Tdes	température désorption, °C	

Références

- [1] K. Sumathy, LI Zhongfu. Experiments with solar-powered adsorption ice-maker. Renewable Energy, 1999, pp.704-707.
- [2] M. Li, H.B. Huang, R.Z. Wang, L.L. Wang, W.D. Cai, W.M. Yang. Experimental study on adsorbent of activated carbon with refrigerant of methanol and ethanol for solar ice maker. Renewable Energy, 2004, pp.2235-2244.
- [3] M.R. Chaya, M. Horn, R. Spinoza, A.P.F. Leite, "Evaluation of a zeolithe-water solar adsorption refrigerator", in: Proceedings of Solar World Congress (ISES'2003), 2003.
- [4] Ph. Grenier, J.J. Guillemot, F. Meunier, M. Pons, "Solar powered solid adsorption cold store", J. Solar Energy Eng. 1988.

- [5] Fatih Bouzeffour, Benyoucef Khelidj, Miloud Tahar Abbes, "Experimental investigation of a solar adsorption refrigeration system working with Silicagel/Water pair: A case study for Bou-Ismaïl solar data", *Solar Energy*, 2016.
- [6] W.-S. Chang, C.-C. Wang, C.-C. Shieh, "Design and performance of a solarpowered heating and cooling system using silica gel/water adsorption chiller", *Appl. Thermal Eng.* 2009.
- [7] A. Boubakri, J.J. Guilleminot, F. Meunier, "Adsorptive solar powered ice maker: experiments and model", *Solar Energy*. 2000.
- [8] F. Lemini, J. Buret-Bahraoui, M. Pons, F. Meunier, "Performance simulation of an adsorptive solar refrigerator: 1.Comparison of performances for two types of activated carbon", *Int. J. Refrigeration*. 1992.
- [9] Z. Tamainot-Telto, R.E. Critoph, Adsorption refrigerator using monolithic carbon-ammonia pair, *Int. J. Refrigeration*. 1997.
- [10] A.E. Fadar, A. Mimet, A. Azzabakh, M. Pérez-García, J. Castaing, "Study of a new solar adsorption refrigerator powered by a parabolic trough collector", *Appl. Thermal Eng.* 2009.
- [11] Anyanwu EE, Ogueke NV. "Transient analysis and performance prediction of a solid adsorption solar refrigerator". ASME-ISES, International Solar Energy conference, 2005.
- [12] Anyanwu EE, Ezekwe CI. "Design, construction and test run of a solid adsorption solar refrigerator using activated carbon/methanol as adsorbent/adsorbate pair". *Energy Conv Manage*, 2003.
- [13] Pous M, Grenier Ph. "Experimental data on a solar powered ice maker using activated carbon and methanol adsorption pair". *J Solar Energy Eng*, 1987.
- [14] Grenier PH, Guilleminot JJ, Mester M, Meunier F, Pous M. "Experimental results on a 12m³ solar powered cold store". In: I.S.E.S congress, 1983.
- [15] Critoph RE. "Laboratory testing of an ammonia carbon solar refrigerator". In: ISES, solar World congress, 1993.