



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION



INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS
34100 TRIESTE (ITALY) - P.O. B. 586 - MIRAMARE - STRADA COSTIERA 11 - TELEPHONE: 2240-1
CABLE: CENTRATOM - TELEX 490302-1

H4.SMR/193 - 38

"COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA SCIENCE DES MATERIAUX POUR L'ENERGIE".
(26 août - 11 septembre 1986).

"REFRIGERATION PAR ADSORPTION SOLIDE AVEC GEL DE SILICE".

Rogério P. Klüppel
Laboratório de Energia Solar
João Pessoa, Brésil

Ces notes de recherche provisoires, sont destinées aux participants. Eventuellement, d'autres copies seront disponibles au bureau 231.

REFRIGERATION PAR ADSORPTION SOLIDE AVEC GEL DE SILICE

Par: Rogerio P. KLÜPPEL
de l'Universidade Federal da Paraiba BRESIL

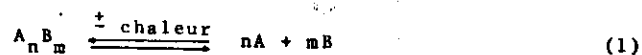
adresse: Laboratório de Energia Solar
Cidade Universitária
58.000 João Pessoa, PB
B R E S I L

RÉSUMÉ

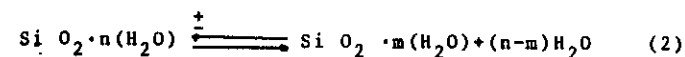
Ce travail retrace l'expérience acquise au LES/UFPb dans l'usage du gel de silice comme adsorbant dans des systèmes de réfrigération solaire. Après des commentaires sur les propriétés du gel de silice sont montrées des données obtenues pendant des essais réalisés avec deux prototypes de réfrigérateur solaire. Les deux prototypes utilisent un capteur d'un modèle nouveau et ont été projetés l'un pour la réfrigération aux environs de 273 K et l'autre pour le refroidissement de l'eau potable, vers 283 K. Dans le premier cas le coefficient de performance solaire a été de 0,055 en moyenne tandis que dans l'autre le CPS est arrivé à 0,07.

LE CYCLE D'ADSORPTION

Un cycle de réfrigération par sorption est basé sur la réversibilité d'une réaction chimique du type:



La réversibilité de la réaction (1) se produit en fonction du déplacement du point d'équilibre de réaction avec des variations de pression et température. Les processus de sorption solide tel que l'adsorption de l'eau par du gel de silice appartiennent aux réactions du type (1). L'énergie nécessaire à la dissociation du composé est transformée en énergie potentielle de réaction chimique, rejetée sous forme de chaleur à l'instant de la recombinaison. Dans le cas du couple gel de silice/eau la réaction est la suivante:



Utilisant un réacteur chimique comme celui schématisé dans la figure 1 on peut construire une machine frigorifique à adsorption solide, qui travaille en cycle intermittent, profitant de l'alternance jour et nuit. Les principes thermodynamiques du fonctionnement d'un tel appareil ont été expliqués par Guilleminot et al. [1].

PROPRIÉTÉS DU GEL DE SILICE

Jusqu'à présent le couple sorbent solide/sorbat gazeux le plus étudié est Zeolithe 13 X/eau [2], [3]. Ce fait est peut-être dû à une bonne connaissance des propriétés du couple, ce qui permet de prévoir la performance d'une machine. Après l'obtention des isostères du couple gel de silice/eau par Sizmann et al [4] on a pu faire les calculs relatifs à l'utilisation de ce binaire dans des machines frigorifiques à sorption.

En effet, des calculs théoriques réalisés par Adell [5] ont montré que pour des températures d'évaporation de quelques degrés en dessus de 0°C le gel de silice est mieux adapté à la réfrigération solaire que la zéolithe.

Admettant que les procédés d'évaporation et de condensation ont lieu à une pression constante, on peut tracer sur le graphique des isostères un cycle fermé qui représente les états du sorbant pendant le cycle de réfrigération. Sur la figure 2 est montré un cycle 1-2-3-4 défini par les pressions de vapeur saturée de l'eau et les lignes de capacité constante (isostères).

Le cycle 1-2-3-4 de la figure 2 n'est qu'une approximation mais donne une idée très claire du procès et permet en outre d'avoir une idée des quantités de matériel nécessaires à une application donnée.

LE COEFFICIENT DE PERFORMANCE SOLAIRE

Le coefficient de performance peut être défini comme le quotient de l'effet frigorifique réel par l'énergie solaire disponible sur la surface du capteur. L'effet frigorifique est le produit de la masse évaporée m_e par la chaleur latente h_{ev} moins l'énergie extraite du réfrigérant pour le refroidir de la température de condensation T_c à celle d'évaporation T_e :

$$CPS = \frac{m_e h_{ev} - m_c (T_c - T_e)}{\int_{24h} G_i \cos \theta d\theta} \quad (3)$$

Où m_c est la masse condensée, G_i la puissance solaire au plan du capteur et θ est l'angle d'incidence de la radiation, fonction du temps. L'intégral du dénominateur est normalement appelée H_T et peut être évaluée expérimentalement à l'aide d'un pyranomètre placé dans le plan du capteur.

Comme expérimentalement il est beaucoup plus facile de mesurer le volume condensé, on considère que $m_e = m_c$. Cela veut dire qu'on admet qu'à chaque cycle le gel garde la même teneur résiduelle d'eau. Sachant que dans l'expérience l'eau rentre dans l'évaporateur à la température ambiante T_a l'équation (3) peut être modifiée pour donner le coefficient de performance expérimental:

$$CPS = \frac{v_c \rho_w [h_{ev} - C_p (T_a - T_c)]}{H_T} \quad (4)$$

Où v_c est le volume d'eau condensée et ρ_w en est la masse volumique.

CONSTRUCTION D'UN REFRIGERATEUR

Un petit réfrigérateur a été construit et testé en 1983, [6].

Ses caractéristiques sont les suivantes:

Capteur. Le capteur solaire est de construction multitubulaire formé par 26 tubes en cuivre de 42 mm ϕ_e contenant 0,8 kg de gel de silice chacun. Le gel est maintenu dans l'espace annulaire formé par le tube de cuivre et un autre tube perforé de plus petit diamètre, qui lui est concentrique. Les tubes extérieurs sont juxtaposés et liés par leur partie supérieure à un tube distributeur par où circule la vapeur d'eau. Les tubes sont placés dans une boîte en aluminium extrudé, couverts par deux lames de verre de 3 mm d'épaisseur et isolés à l'arrière par 5 cm de laine de verre.

Condenseur. Le condenseur est composé de tubes de cuivre de 15 mm ϕ_e arrangés en parallèle et immergés dans un réservoir d'eau de 0,5 m³ en capacité. La surface totale d'échange est d'environ 9 m².

Évaporateur. L'évaporateur est un cylindre en acier de 0,01 m³ de capacité contenant 8 kg d'eau. L'évaporateur est placé à l'intérieur d'une enceinte isolée de 0,08 m³ de volume.

Les résultats des tests sont montrés sur le Tableau 1 ci-dessous. Des données plus complètes sont présentées par [6], [7].

TABLEAU 1. Résultats de tests d'un réfrigérateur solaire d'adsorption. T_{max} est la température maximale atteinte à l'intérieur de la chambre pendant le cycle de 24 h.

Date	H	H_T	T_a^*	T_{max}	m_c	CPS
(1983)	(MJ/m ²)	(MJ/m ²)	(°C)	(°C)	(kg)	(Z)
27/7	21,4	22,3	27,5	18,2	0,75	10,0
28/7	21,9	23,1	27,5	17,3	0,70	9,0
29/7	20,7	21,7	27,2	17,4	0,58	7,9
30/7	15,5	16,2	27,5	15,8	0,20	3,8
1/8	15,8	16,6	27,5	16,0	0,17	3,0
23/11	26,8	25,9	29,7	14,9	0,67	7,6
24/11	19,9	19,2	29,6	15,0	0,38	5,8
25/11	18,7	18,1	29,9	14,6	0,27	4,4
26/11	24,4	23,6	28,4	15,7	0,88	11,0
27/11	24,3	23,6	28,2	15,9	0,58	7,3
28/11	26,3	25,5	29,3	16,2	0,57	6,6
29/11	26,0	25,1	29,3	15,7	0,45	5,3

*) T_a est la moyenne journalière de la température ambiante.

REFROIDISSEMENT D'EAU POTABLE

Dans le but de trouver un système mieux adapté à l'usage du gel de silice/eau comme couple frigorigène on a construit un prototype de réfrigérateur d'eau potable montré sur la figure 3. Le prototype est très semblable au modèle antérieur, avec les modifications suivantes:

Capteur. Le capteur est aussi multitubulaire, formé de 25 tubes comme celui du modèle antérieur, d'une surface de captation totale de 1 m^2 , couvert par une seule lame de verre.

Evaporateur. L'évaporateur est un réservoir en acier de $0,3 \text{ m}^3$ de capacité isolé thermiquement à l'extérieur et contenant 25 kg d'eau. A l'intérieur du réservoir un serpentin en cuivre forme l'échangeur de chaleur par où circule l'eau potable à refroidir.

Les résultats de deux semaines de tests, une au début du période d'essai et l'autre après un an de fonctionnement continu, sont montrés sur le Tableau 2 [8].

TABLEAU 2. Résultats de test obtenus pendant deux séries de mesures d'une semaine. T_{max} est la température maximale atteinte par l'estockage et T_{min} en est la température minimale, pendant la période de 24 h.

Date	H (MJ/m ²)	H _T (MJ/m ²)	$\bar{T}_a$ °C	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	m_c (kg)	OPS %
27/4/85	21,3	22,1	28	14	9	0,65	7
28/4/85	10,8	11,7	26	16	8	0,13	3
29/4/85	10,5	10,7	26	18	12	0,0	0
30/4/85	23,4	23,8	28	17	10	1,30	13
01/5/85	21,9	22,4	29	17	10	0,65	7
02/5/85	23,8	24,8	28	17	3	0,60	6
21/6/86	17,0	19,2	25	12	7	0,73	9
22/6/86	18,6	21,2	26	13	6	0,70	8
23/6/86	19,0	21,8	25	15	8	0,77	8
24/6/86	21,5	24,9	26	13	5	0,77	7
25/6/86	12,2	12,9	24	15	7	0,22	4
26/6/86	16,0	17,7	25	14	7	0,78	11

CONCLUSIONS

Les résultats présentés montrent que le prototype de réfrigérateur n'a pas pu atteindre des températures en dessus de 4°C . D'autre part on peut aussi voir que la température a trop monté à l'intérieur du prototype pendant la journée. Le refroidisseur d'eau potable a mieux fonctionné et les résultats de CPS montrés sur le Tableau 2 sont plus intéressants que ceux donnés sur le Tableau 1. On peut donc conclure que le couple gel de silice/eau est mieux adapté au refroidissement à des températures de l'ordre de 8°C , que pour la réfrigération aux environs de 0°C .

L'expérience a montré que le procès le plus long est celui de sorption et que la régénération peut avoir lieu en 3 h de bonne insolation, environ.

La température de condensation est critique et on ne peut pas utiliser un condenseur refroidit à l'air sous peine de diminution du volume d'eau condensée et par conséquent le CPS.

Le Tableau 2 montre, aussi, que le gel de silice n'a pas subi de dégradation appréciable après un an d'opération continue.

REFERENCES

- 1) GUILLEMINOT, J. J., F. MEUNIER et B. MISCHLER Rev. Phys. Appl. vol. 17 (1980) p. 441
- 2) TCHERNEV, D. I. ASSET vol 6 n. 5 (1984) p. 21
- 3) GUILLEMINOT, J. J. et MEUNIER, F. Rev. Gen. Ther. Fr. 239, (novembre 1981) p. 825.
- 4) SIZMANN R., D. JUNG et N. KHELIFA Rev. Intern. d'Helioth. 2^{ème} sem. 1981, p. 42.
- 5) ADELL, A. Rev. Phys. Appl. vol. 19 (1984) p. 1005.
- 6) VODIANITSKAIA, P. J. et KLUPPEL, R. P. "Geladeira solar de adsorção" Ann. du III Congrès Brésilien d'Energie (1984) p. 583.
- 7) VODIANITSKAIA, P. J. Thèse de MSc en génie Mécanique présentée à l'Université Fédérale de Paraíba, João Pessoa, (dec. 1984).
- 8) KLUPPEL, R. P. et J. M. A. M. GURGEL "Potable water cooling by solid adsorption" accepté pour présentation au V Congrès Latinoaméricain d'Energie Solaire. Valparaiso, (Chile, 1986).

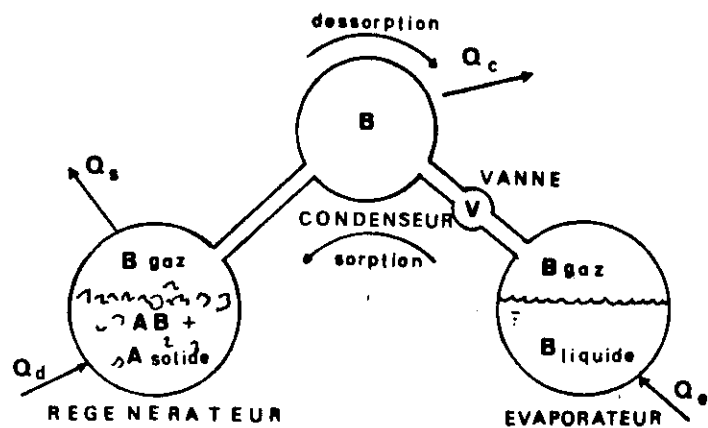


FIGURE 1 Schema d'un réacteur thermochimique qui peut être utilisé comme machine frigorifique.

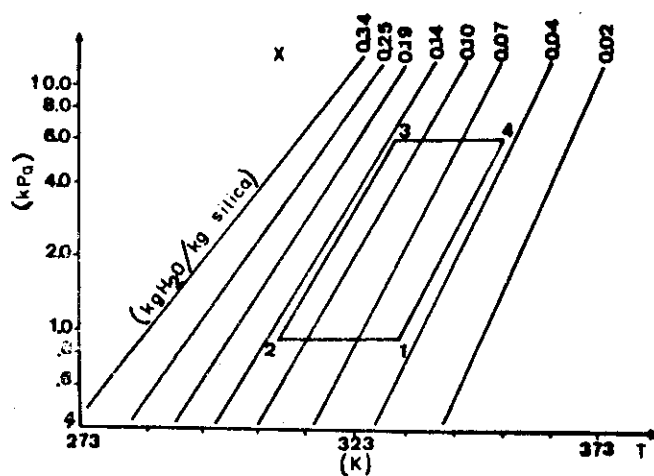


FIGURE 2 Cycle théorique de sorption sur un diagramme d'isostères du couple gel de silice/eau.

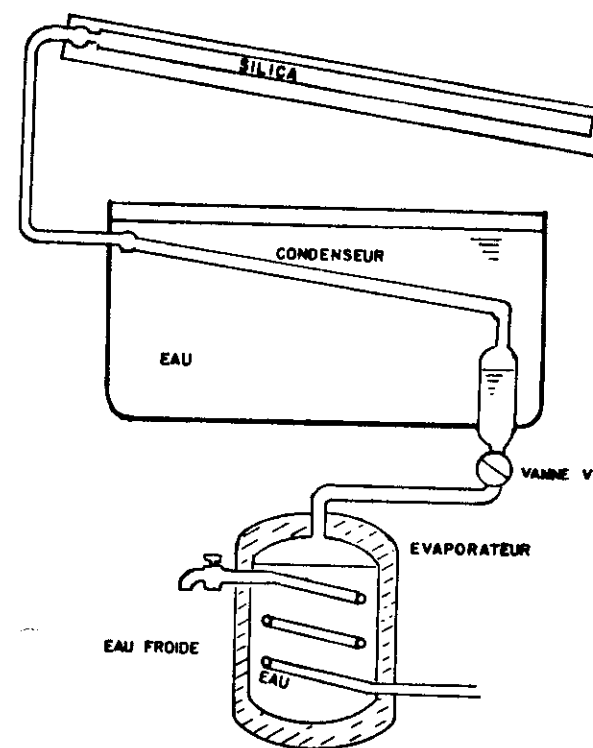


FIGURE 3 Schema du prototype de réfrigérateur d'eau potable par adsorption solide construit au LES/UFPB.

