

## ETUDE D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE SOLAIRE A ABSORPTION (EAU-AMMONIAC) SITE DE RABAT

**J. Dardouch, M. Charia, A. Bernatchou, S. Malaine**

*Laboratoire d'Energie Solaire et d'Environnement, Faculté  
des Sciences. Département de Physique. Avenue  
Ibn Battota, B. P.1014. Rabat, Maroc*

**E-mail :** [dardouch81@gmail.com](mailto:dardouch81@gmail.com) , [charia@fsr.ac.ma](mailto:charia@fsr.ac.ma), [bernatchou@fsr.ac.ma](mailto:bernatchou@fsr.ac.ma),  
[salak007@yahoo.fr](mailto:salak007@yahoo.fr)

**Résumé :** Le présent travail porte sur l'étude d'une machine frigorifique à absorption solaire (eau-ammoniac) équipée d'une colonne de distillation afin de purifier la vapeur d'ammoniac sortant du bouilleur, qui a un effet négatif sur les performances de la machine. Nous avons réalisé un programme de simulation de la machine, basé sur les lois de conservation de la masse et de l'énergie appliquées au niveau de chaque élément de la machine et sur les conditions réelles de fonctionnement de la machine, et des propriétés thermodynamiques du mélange ammoniac-eau et des données solaires réelles du site de Rabat.

La comparaison des résultats de la simulation des deux machines montre que la machine frigorifique à absorption avec colonne de distillation est mieux adaptée à l'énergie solaire avec des performances nettement meilleures que la machine frigorifique à absorption simple.

**Mots clés :** Système à absorption, colonne de distillation, énergie solaire, NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O.

### 1 - Introduction :

Le Maroc est doté d'un potentiel solaire important, avec un rayonnement solaire incident moyen de 4,7 à 5,7 kWh/m<sup>2</sup>/jour, et un nombre d'heures d'ensoleillement qui varie de 2800 heures/an dans le Nord du Maroc à plus de 3500 heures/an dans le Sud. Un atout qui a poussé le Maroc à élaborer une stratégie énergétique nationale en 2009 donnant priorité à l'énergie solaire, en adoptant les technologies de production solaire existant sur le marché.

Parmi ces moyens technologiques et qui sont en forte évolution, on cite les machines à absorption solaire, jugées amies de l'environnement en raison de leur utilisation du mélange (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O-LiBr...), en remplaçant les machines à compression qui utilisent les fluides frigorigènes chlorofluorocarbures (C.F.C) ayant un effet néfaste sur la couche d'ozone et participent d'une manière importante à l'accroissement de l'effet de serre [2], une raison qui a poussé plusieurs laboratoires de recherche à améliorer les performances de ces machines.

Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés, dans ce présent travail à déterminer les performances d'une machine frigorifique à absorption solaire avec et sans colonne de distillation.

### 2 - Etude de la machine solaire à absorption :

Le cycle de la machine simple sans colonne de distillation est illustré par la figure (1), la machine subdivisée en dix organes : générateur, condenseur, évaporateur, absorbeur, deux détendeurs, une pompe, deux échangeurs de chaleur et capteur solaire. Cela suppose pour le couple de fluides eau-ammoniac, les vapeurs émises au niveau du bouilleur ne sont pas constituées par l'ammoniac pur, mais par un mélange eau-ammoniac. Or la présence de la vapeur d'eau dans le fluide frigorigène traversant l'évaporateur a un effet négatif sur l'effet frigorifique de la machine à absorption et par conséquent sur les performances de la machine. On a donc intérêt à purifier la vapeur sortant du bouilleur afin d'obtenir uniquement des vapeurs d'ammoniac. Pour cela nous avons équipé notre organe d'une colonne de distillation, qui nous permet de purifier les vapeurs sortantes, en les

refroidissant aux niveaux des différents étages de la colonne de distillation. L'ammoniac pur obtenu est envoyé vers le condenseur et par la suite à l'évaporateur. Le schéma de la machine avec colonne de distillation est donné par la figure (2).

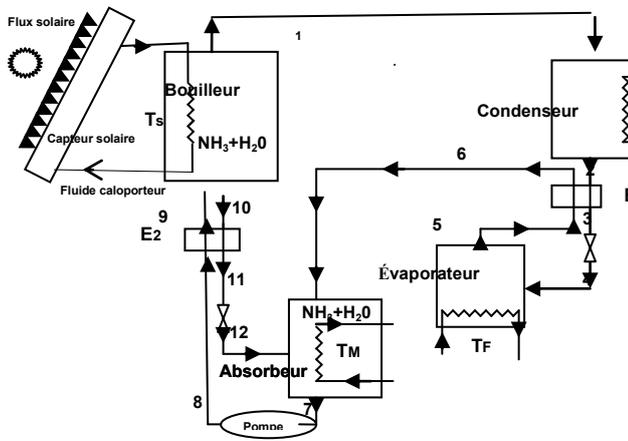


Figure 1: schéma de la machine frigorifique solaire à absorption sans colonne de distillation

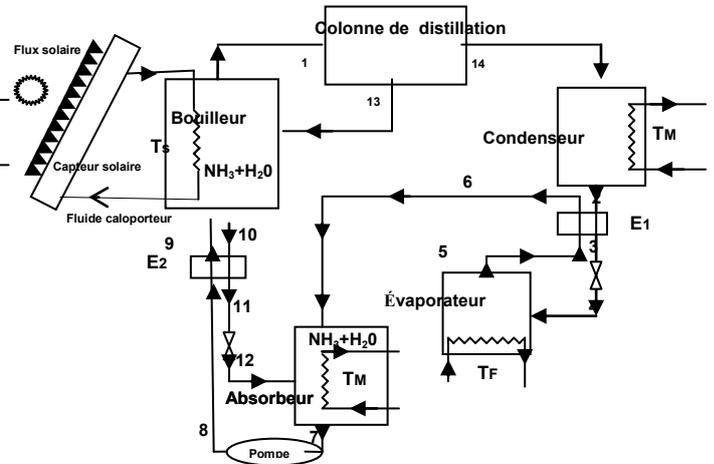


Figure 2 : schéma de la machine frigorifique solaire à absorption avec colonne de distillation

### 3-Modèle de simulation de la machine

Un modèle de simulation numérique du fonctionnement du système en régime stationnaire est réalisé en langage Fortran [1], basé sur les équations des bilans massiques et énergétiques au niveau de chaque élément de la machine, ainsi que les équations d'état de Peng Robinson et l'expression analytique de l'énergie libre de Gibbs - et des propriétés thermodynamiques des fluides de travail NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O et des conditions réelles de fonctionnement de la machine [3] [4].

### 4- performance de la machine à absorption solaire :

Ecrivons le bilan des enthalpies au niveau de chaque élément de la machine à absorption :

- Bouilleur :  $Q_B = qm_1 \cdot h_1 + qm_{10} \cdot h_{10} - qm_{13} \cdot h_{13} - qm_9 \cdot h_9$
- Absorbeur :  $Q_A = qm_7 \cdot h_7 - qm_{12} \cdot h_{12} - qm_{14} \cdot h_{14}$
- Evaporateur :  $Q_E = qm_{14} (h_5 - h_4)$
- Condenseur :  $Q_C = qm_{14} (h_2 - h_{14})$
- Colonne de distillation :  $Q_{CD} = qm_{14} \cdot h_{14} + qm_{13} \cdot h_{13} - qm_1 \cdot h_1$

Le coefficient de performance de la machine sera donc :

$$COP = \frac{Q_F}{Q_B}$$

Où : QF est l'effet frigorifique  
QB est le flux de chaleur reçu au niveau du bouilleur.

### 5- Rendement du capteur :

Le rendement du capteur  $R_{cap}$  peut s'exprimer en fonction de la température de sortie du fluide caloporteur  $T_S$  suivant la relation donnée par Hottel – Whillier [5]:

$$R_{cap} = FB \left( \eta - \frac{u(T_S - T_M)}{I_S} \right)$$

Avec :  $FB = FR (1 - F_R \beta)^{-1}$  ,  $FR = \frac{1 - \exp(-\beta)}{\beta}$  ,  $\beta = \frac{u}{m c_p}$

## 6- Coefficient de performance de la machine à absorption solaire

Le coefficient de performance de la machine à absorption solaire est égal au produit du rendement du capteur  $R_{cap}$  et le coefficient de performance de la machine donnée par l'équation [6] :

$$COPS = R_{cap} \cdot COP$$

## 7-Résultats de simulation de la machine solaire à absorption

Nous proposons dans cette partie de présenter les résultats de l'étude de la machine solaire avec et sans colonne de distillation.

### 7.1 - Résultats à irradiation globale constante :

La surface des capteurs nécessaire pour produire un effet frigorifique de 1kw est représentée sur la figure 3. Le COPS en fonction de  $T_s$  est illustré par la figure 4.

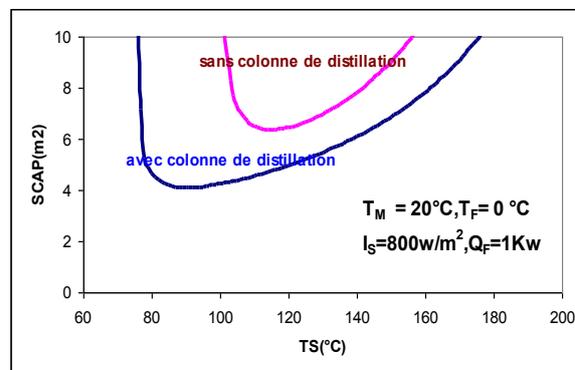


Figure 3: Evolution de la Scap en fonction de  $T_s$

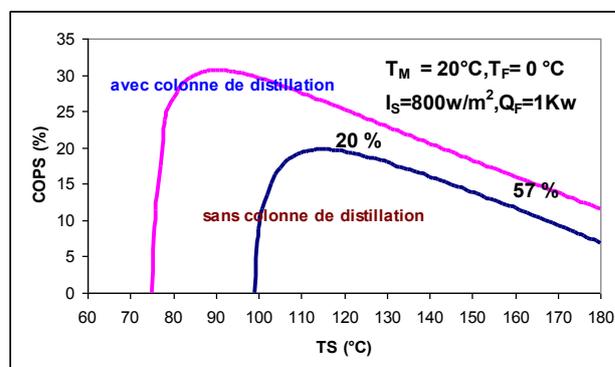


Figure 4: Evolution du COPS en fonction de  $T_s$ .

- On constate d'après cette courbe que l'utilisation d'une colonne de distillation permet de réduire la surface des capteurs de 30 %
- On constate que les courbes présentées dans la figure 4 ont la même allure, sauf que le maximum est légèrement décalé vers les basses valeurs de  $T_s$ . Nous notons que la machine avec colonne de distillation permet une amélioration du COPs de 20% à 57% en fonction de  $T_s$ .

## 7.2 - Résultats à irradiation globale variable

Les figures 5 et 6 représentent les variations du COPs et du  $T_s$  pour les deux machines frigorifiques à absorption, avec et sans colonne de distillation en fonction du temps solaire vrai (TSV) pour la journée type claire.

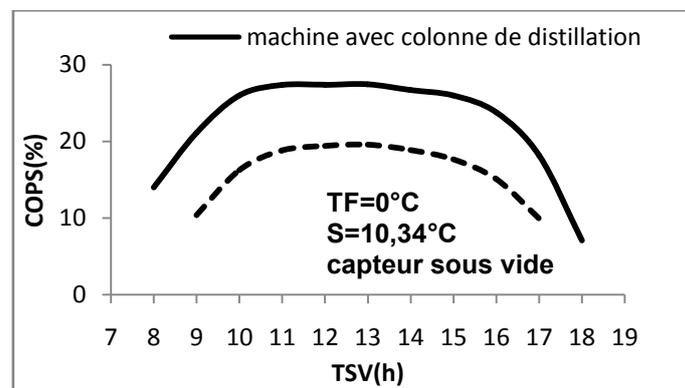


Figure 5 : Evolution du COPs pour les deux machines avec et sans colonne de distillation en fonction du TSV

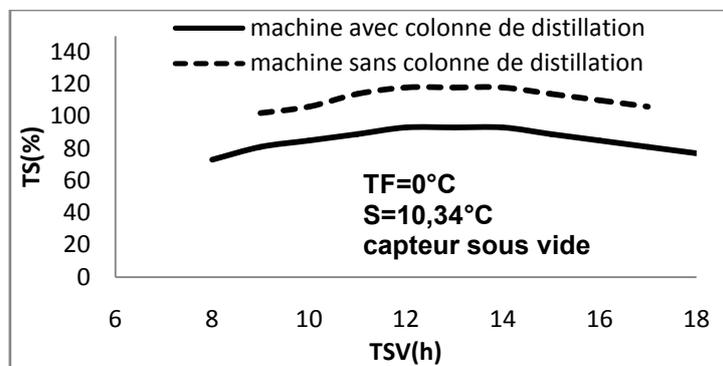


Figure 6: Evolution de TS pour les deux machines avec et sans colonne de distillation en fonction du TSV\*

- On constate que la machine sans colonne de distillation fonctionne entre 9 h et 17h (T.S.V) enregistrant un coefficient de performance solaire COPs maximum de l'ordre de 19% vers 13 h. Alors que la machine avec colonne de distillation fonctionne sans arrêt entre 8h et 18h enregistrant un coefficient de performance solaire COPs maximum de l'ordre de 27% vers 13 h.
- On remarque, dans la figure (6), que la température  $T_s$  du fluide caloporteur de la machine avec colonne de distillation passe par un maximum varie entre 73°C et 93°C, et celle de machine sans colonne de distillation passe par un maximum varie entre 102 et 118°C.

## 8-Conclusion

Nous avons noté que le coefficient de performance solaire amélioré dépasse de 20 à 57 % en fonction de  $T_s$  celui de la machine simple, et que la surface des capteurs sous vide alimentant la machine en énergie thermique est réduite d'environ 30%, de plus cette énergie peut être assurée par des capteurs plans qui sont disponibles sur le marché et moins chers Ce qui présente un avantage de point de vue économique. Les résultats obtenus montrent que le fonctionnement de la machine dépend énormément de la température ambiante et l'irradiation globale qui subit des extrêmes variations selon la saison de l'année.

## 9- Nomenclature :

COP	: Coefficient de performance,
$COP_s$	: Coefficient de performance solaire,
$E_1$	: Échangeur – récupération entre le condenseur et l'évaporateur,
$E_2$	: Échangeur – récupération entre le bouilleur et l'absorbeur,
P	: Pression, bars
$Q_A$	: Flux de chaleur échangé au niveau de l'absorbeur, KW
$Q_B$	: Flux de chaleur échangé au niveau du bouilleur, KW
$Q_C$	: Flux de chaleur échangé au niveau du condenseur, KW
$Q_F$	: Flux de chaleur échangé au niveau de l'évaporateur, KW
$T_B$	: Température de la source chaude, °C
$T_F$	: Température de la source froide, °C
$T_M$	: Température de la source moyenne, °C
$T_S$	: Température du fluide caloporteur à la sortie des cas capteurs solaires, °C
$I_S$	: éclairement global d'un plan incliné, KW.h
$qm_i$	: débit massique au point i, Kg/s
$h_i$	: enthalpie au point i, Kj
Rcap	: rendement optique,
U	: conductance thermique/ $m^2.K$
m	: débit massique surfacique, $Kg/m^2..h$
$I_s$	: irradiation solaire d'un plan du capteur incliné de s W/m
CP	: chaleur spécifique du fluide caloporteur (eau),j/Kg.K
$I_s$	: la température de sortie du fluide caloporteur, °C
$T_M$	: la température ambiante, °C
Rcap	: rendement du capteur solaire,
$F_i$	: fugacité du constituant i,
$\eta$	: rendement du capteur,
TSV	: temps solaire vrai, h

## 7 - Références :

- [1].M. Charia, contribution à l'étude des machines frigorifiques à absorption monoétagées et biétagées, Thèse de docteur d'état es sciences physique, Fac des Sciences, Rabat, 1990
- [2] M.Ahachad, production de froid par énergie solaire : contribution à l'étude des machines frigorifiques à absorption .",Thèse de DES de troisième cycle , fac des sciences, Rabat, 1993.
- [3] M. CHARIA, A. PILATTE, M. BOUIDIDA, "Optimisation des conditions de fonctionnement d'une machine frigorifique à absorption (eau - ammoniac)", Revue Kelvin, 3<sup>ème</sup> trimestre, pp. 4-16, 1990.
- [4] M. CHARIA, A. PILATTE, M. BOUIDIDA, "Machine frigorifique à absorption (eau - ammoniac) fonctionnant avec des capteurs plans sur le site de Rabat", Revue internationale de Froid, vol. 14, pp. 297-303, 1991.
- [5] M. Ahachad, A. Almers, A. Draoui ,Solar-based comparison of adsorption and absorption refrigeration machines,Revue international journal of sustainable energy,vol.24,No,4,pp 199-206,2005
- [6] M. Ahachad ,M. CHARIA, A. Bernatchou,Study of an improved  $NH_3 - H_2O$  Solar absorption refrigerating machine in Rabat(Marocco),Revue Solar Energy Materials Sollar Cells,Vol.28,pp.71-79,1992