

Etude des performances d'un capteur stockeur cylindro-parabolique

A. Teyeb², L. Dehmani^{*1}, A. Ben Ezzine¹, C. Kerkeni¹ et L. Kaabi²

¹ LEPT, Institut National de Recherche Scientifique et Technique,
B.P. 95, 2050 Hammam Lif, Tunisie

² Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie,
B.P. 676, 1080, Centre Urbain du Nord, Tunis, Tunisie

(reçu le 07 Mai 2005 - accepté le 30 Septembre 2006)

Résumé - *Le solaire thermique, et principalement la production d'eau chaude à l'aide de chauffe-eau solaires, représente l'une des applications les plus prometteuses de l'énergie solaire pour des pays comme la Tunisie. Dans ce but, une étude des performances a été menée sur un capteur stockeur cylindro-parabolique fabriqué à l'INRST, dans le cadre d'un projet, ayant comme objectif principal, la réalisation de chauffe-eau solaires peu encombrants, d'utilisation simple et à faible coût, pouvant être introduits sur le marché tunisien. La comparaison de ce capteur à un système de chauffe-eau classique, composé d'un capteur plan et d'un ballon de stockage vertical, a montré des performances thermiques comparables et une durée de remboursement correspondant environ à la moitié de ce dernier. L'ensemble de ses caractéristiques lui offre donc un rapport qualité prix concurrentiel.*

Abstract - *Solar heat applications, and mainly the production of hot water using solar water heaters, represent one of the most promising applications of solar energy for countries like Tunisia. So, a study was undertaken on the performances of an integrated collector-storage solar water heater consisting of a cylindrical water storage tank combined with a parabolic reflector, manufactured at the INRST. This system was built within a project, which intends, the realization of inexpensive not bulky solar water heaters, being able to be introduced on the Tunisian market. The comparison between this integrated collector-storage solar water heater and a traditional solar domestic hot water system, using a flat plate collector and a vertical storage tank, showed comparable thermal performances and only about half of the refunding duration of the traditional system. Thus the characteristics of the integrated system offer a competitive alternative with respect to price and quality.*

Mots clés: Energie solaire - Chauffe-eau - Capteur stockeur - Performances thermiques.

1. INTRODUCTION

Une importance particulière est en train d'être accordée à la recherche dans le domaine des énergies nouvelles et renouvelables, ceci pour plusieurs causes qui peuvent être principalement résumées, d'une part, en la croissance accrue de la demande mondiale en énergie conventionnelle et ses problèmes d'approvisionnement, et d'autre part, en l'élévation de son coût et la pollution qu'elle provoque.

De ce fait, apparaît l'énergie solaire comme étant l'énergie de l'avenir, vu le rôle qu'elle peut jouer dans des pays comme la Tunisie, recevant une insolation relativement forte, environ 3000 heures d'ensoleillement annuel [1] et une radiation globale moyenne quotidienne de 5 kWh/m² [2].

L'énergie solaire peut être transformée en chaleur par l'intermédiaire d'un fluide (eau, air, etc.) circulant au contact d'une surface qui capte le rayonnement solaire, de cette façon on obtient un bon rendement de conversion de l'énergie solaire en chaleur. Cette technique permet la

* leila.dehmani@fst.rnu.tn

production de chaleur pour le chauffage domestique (système solaire combiné), l'eau chaude sanitaire, le chauffage des piscines etc.

L'évolution rapide des procédés modernes d'utilisation de l'énergie solaire a conduit au développement de plusieurs types de systèmes de chauffe-eau solaires [1, 3-8].

On s'intéresse ici à l'étude énergétique d'un capteur stockeur cylindro-parabolique servant au chauffage de l'eau domestique, ce capteur vient d'être fabriqué au sein du Laboratoire d'Énergétique et des Procédés Thermiques (LEPT) de l'Institut National de Recherche Scientifique et Technique (INRST), il intègre à la fois les fonctions de captage et de stockage de l'énergie.

L'étude de ce système est effectuée dans le but d'améliorer son rendement thermique, d'élargir son domaine d'utilisation et de satisfaire à des critères de réduction de coût pour donner aux chauffe-eau solaires un prix abordable par le foyer tunisien tout en garantissant un niveau de satisfaction acceptable.

Les résultats expérimentaux effectués sur ce nouveau prototype sont analysés puis comparés à ceux obtenus à l'aide d'un système de chauffe-eau classique commercialisé en Tunisie.

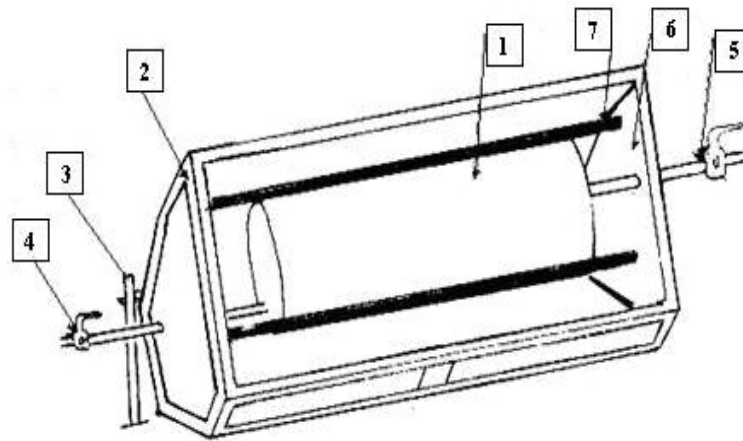
2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET TECHNIQUES DE MESURE

On étudie un chauffe-eau monobloc de type autostockeur sans échangeur de chaleur à base d'un réservoir cylindrique peint en noir (peinture à base d'époxy) placé à l'intérieur d'un coffre thermiquement isolé (mousse polyuréthane). Cette isolation est recouverte par un réflecteur en inox de forme cylindro-parabolique. L'ensemble est fermé par un vitrage simple en verre trempé (Fig. 1).

L'acquisition des différentes données s'effectue à travers une chaîne d'acquisition développée autour de l'unité d'acquisition Agilent 34970A (Fig. 2). On s'intéresse principalement à l'ensoleillement et à la température de l'eau à l'entrée et à la sortie du capteur stockeur, lors du soutirage. La mesure de ces deux températures se fait avec deux sondes thermométriques Pt-100 qui sont placées à l'entrée et à la sortie du capteur.



a- Vue du capteur stockeur



b- Schéma du capteur stockeur

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. Ballon de stockage en acier (Volume de 200 litres) | 4. Vanne d'entrée |
| 2. Structure de maintien du boîtier | 5. Vanne de sortie |
| 3. Support de fixation | 6. Verre trempé (2 m ²) |
| | 7. Bras de maintien |

Fig. 1: Capteur stockeur conçu et réalisé au LEPT

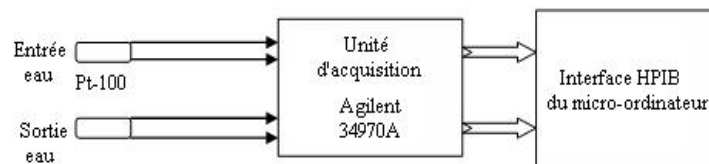


Fig. 2: Principe du système d'acquisition des données

Grâce aux facilités offertes par l'unité d'acquisition, on peut faire directement une mesure de résistance sans avoir besoin de faire un conditionnement.

Le rendement du capteur est déterminé par la méthode Input-Output, celle-ci consiste à laisser le capteur s'échauffer pendant toute la journée et à mesurer le flux solaire incident. En fin de journée, l'énergie thermique Q_s stockée dans l'eau est mesurée à l'aide d'un soutirage à débit constant de 10 l/min. Le soutirage est arrêté lorsque la température T_e de l'eau à l'entrée du capteur est égale à la température de sortie T_s .

Pour déterminer le coefficient de déperditions thermiques du système, on remplit le ballon avec de l'eau chaude à une température T_1 (environ 70 °C) et on le laisse se refroidir à l'intérieur d'un local dont on mesure la température ambiante moyenne. Au bout de 24 heures, on mesure la température T_2 atteinte par l'eau.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Analyse des résultats expérimentaux

Les essais ont été effectués durant le mois de septembre, les données climatiques relatives à trois jours types ainsi que les courbes de soutirage sont reportées sur la figure 3.

Pendant les jours d’essai, l’énergie journalière cumulée par unité de surface a été de l’ordre de 21 MJ/m² et le capteur a intercepté en moyenne H = 39 MJ dont 13.5 MJ ont été fournis à l’eau.

D’autre part, la densité de flux solaire atteint en général son maximum (de l’ordre de 1000 W/m²) vers 12 h 30 pour arriver à 750 W/m² vers 15 h, c’est le moment opportun pour l’exploitation de l’eau chauffée [9].

Le capteur permet d’atteindre une température maximale de 58 °C et une température moyenne de 40 °C, sur un soutirage de 200 l, ce qui est très satisfaisant pour l’utilisateur. Ceci revient principalement à son principe de fonctionnement basé sur l’effet de serre et la concentration du rayonnement solaire par le réflecteur.

Rendement

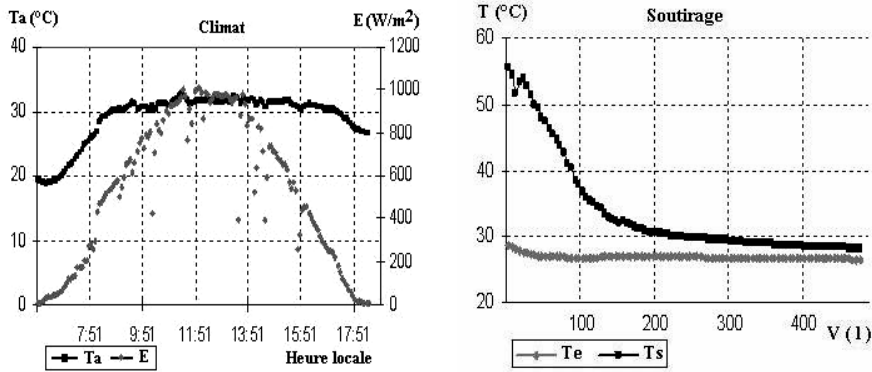
Le rendement thermique journalier du capteur est représenté dans le tableau 1. Il est calculé suivant la formule:

$$\eta_{th} = Q_s / H$$

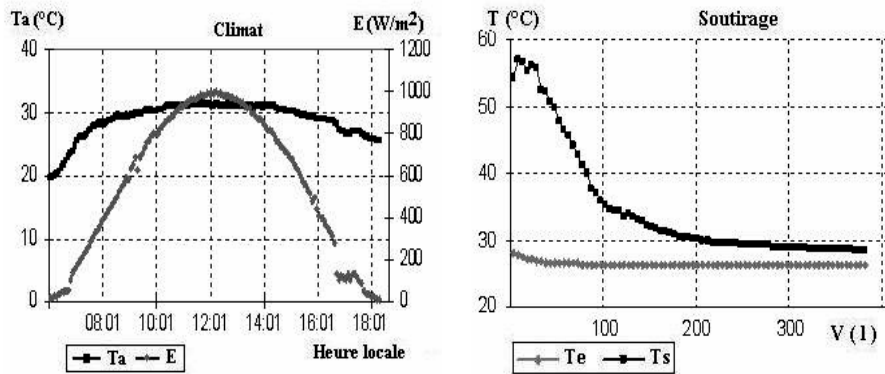
Tableau 1: Rendement thermique du capteur stockeur

Essai n°	1	2	3
Q _s (MJ)	13,66	13,52	13,79
H (MJ)	37,05	39,10	40,53
η _{th} (%)	36,86	34,58	34,02

Essai n°1



Essai n°2



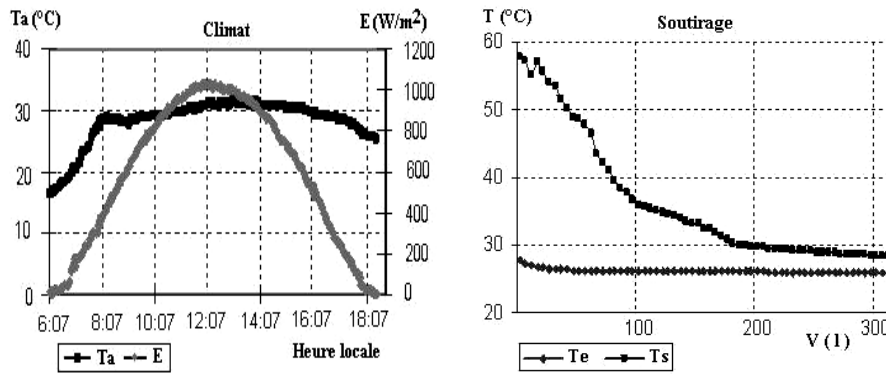
Essai n°3

Fig. 3: Données climatiques et profils de soutirage

Pour la période de test, le rendement moyen a été de l'ordre de 36 %. Cette valeur peut être considérée comme acceptable vu les contraintes imposées par le critère optimisation du coût sur la conception et le choix des matériaux de fabrication.

Coefficient de déperditions

Le coefficient de déperditions du système U_t est calculé suivant la formule:

$$U_t = \frac{\rho C_p V}{(T_2 - T_1)} \ln \frac{T_1 - T_a}{T_2 - T_a}$$

avec: $V = 200$ litres.

On obtient un coefficient de déperditions expérimental de 8.9 W/K.

Cette valeur qui est un peu élevée, ne constitue pas en réalité un handicap pour le système pour deux raisons:

- Le volume de stockage du système est relativement important.
- Le fort pourcentage de journées ensoleillées en Tunisie permettra à l'utilisateur de couvrir environ 70 % de ses besoins en eau chaude [1].

Une grande partie des pertes thermiques s'effectue par convection et rayonnement à travers la face avant du capteur. En effet, si l'on recouvre la face avant de ce capteur par une isolation de 2.5 cm de polyéthylène, on obtient un coefficient de déperditions de 5.2 W/K. On voit donc qu'environ 42 % des pertes s'effectuent par la face avant, d'où l'intérêt de couvrir cette dernière en l'absence de rayonnement solaire.

3.2 Comparaison avec un système de chauffe-eau classique

Les résultats obtenus sont comparés à ceux d'un autre système classique (**Tableau 2**) commercialisé sur le marché tunisien [1, 10], qui se compose d'un capteur plan et d'un ballon de stockage placé verticalement. Ce système fonctionne suivant le principe de la convection naturelle, par thermosiphon.

Tableau 2: Performances thermiques relatives aux deux systèmes

	Capteur stockeur	Système classique
Rendement	35.5 %	38.5 %

Approche technique

On voit que le capteur cylindro-parabolique réalise des performances comparables à celles du système de chauffe-eau classique. Les deux systèmes présentent des rendements thermiques de même ordre de grandeur.

D'autre part, l'essai de déperditions avec une isolation sur la face avant a présenté un coefficient de déperditions de l'ordre de 5 W/K qui est comparable au coefficient de déperditions d'un ballon isolé dans le cas d'un système classique [1].

Approche économique

Le tableau 3 regroupe quelques données économiques servant à l'évaluation du capteur. L'apport journalier des deux systèmes est calculé sur la base du prix de vente de 1 kWh d'électricité, qui est de 0.093 Dinars Tunisiens (0.072 \$) et le coût de 1 kWh d'énergie thermique est calculé en considérant une durée de vie estimative de 10 ans pour chaque capteur.

Tableau 3: Etude comparative des deux systèmes

	Système classique	Capteur cylindro-parabolique
Energie moyenne stockée par jour	3.9 kWh	3.6 kWh
Apport journalier	0.280 \$/jour	0.258 \$/jour
Profit moyen d'énergie	1450 kWh/an	1300 kWh/an
Coût du système	770 \$	385 \$
Durée de remboursement	7.54 ans	4.1 ans
Coût de 1 kWh	0.054 \$	0.028 \$
Bénéfice net	262 \$	558 \$

On voit que la durée de remboursement du capteur cylindro-parabolique est de 4 années, ce qui est très avantageux et correspond environ à la moitié du temps de remboursement du système classique.

D'autre part, notre capteur thermique permet, sur sa durée de vie, de réaliser un bénéfice net égal à 150 % du montant investi.

4. CONCLUSION

Le capteur stockeur cylindro-parabolique intégrant à la fois les fonctions de captage et de stockage, a montré des performances thermiques comparables au système classique, malgré sa simplicité de conception et son coût peu élevé.

Pour diminuer ses déperditions nocturnes, la face avant du capteur pourrait être couverte pendant la nuit.

Une étude plus détaillée des déperditions thermiques dues aux échanges convectifs et radiatifs au niveau du vitrage pourrait nous mener à l'amélioration de notre système. De plus, l'association de ce capteur à un système d'appoint au gaz naturel permettra à l'utilisateur de couvrir tous ses besoins énergétiques à très faible coût.

NOMENCLATURE

A	surface utile du capteur
C_p	chaleur massique moyenne de l'eau durant la période de mesure
E	densité du flux solaire incident
H	énergie radiative journalière interceptée par le capteur
Q_s	énergie thermique journalière fournie par le capteur
T_a	température ambiante
T_e	température de l'eau à l'entrée du capteur
T_s	température de l'eau à la sortie du capteur
T_1	température moyenne de l'eau du ballon à l'instant t_1
T_2	température moyenne de l'eau du ballon à l'instant t_2
t_1, t_2	instants de début et de fin du refroidissement
U_t	coefficient de déperditions
V	volume soutiré
η_{th}	rendement thermique
ρ	masse volumique moyenne de l'eau durant la période de mesure

REFERENCES

- [1] C. Kerkeni, K. Hamdi, L. Dehmani et A. Belghith, 'Etude des Performances Thermiques à Long Terme d'un Système Solaire de Chauffage de l'Eau Sanitaire', JITH, pp. 345 – 351, 1993.
- [2] ANER, 'Réglementation Thermique et Energétique des Bâtiments Neufs en Tunisie', Janvier 2003.
- [3] Rapport d'essai KTB. 2003-27 du Laboratoire Fraunhofer-ISE, 'Etude du modèle Compact 160 de la société Solarinox', 2003.
- [4] A. Hasan, 'Comparing Integrated Collector-Storage Water Heater with Thermosyphon System', WREC'2000, pp. 1031 – 1035, 2000.
- [5] Y. Tripanagnostopoulos and P. Yianoulis, 'CPC Solar Collectors with Multichannel Absorber', Solar Energy, Vol. 58, N°1-3, pp. 49 - 61, 1996.
- [6] Y. Tripanagnostopoulos and M. Souliotis, 'ICS Solar Systems with Horizontal (E-W) and Vertical (N-S) Cylindrical Water Storage Tank', Renewable Energy, 29, pp. 73 – 96, 2004.
- [7] C. Kerkeni, K. Hamdi and A. Belghith, 'Aging Test of Flat Solar Collectors Made in Tunisia', 4^{ème} Congrès Arabe International de l'Energie Solaire, Amman, 1990.
- [8] <http://Pierre.amet.free.fr/>
- [9] C. Kerkeni, F. Benjemaa, S.K.A. Farhat and A. Belghith, 'Solar Domestic Hot Water: Numerical and Experimental Study of the Thermal Stratification in a Storage Tank', Revue Internationale d'Héliotechnique, N°23, pp. 45 – 49, 2001.
- [10] Rapport d'Activités du LEPT, 'Etude des Performances Thermiques d'un Capteur Plan', 2004.