



Etude thermique d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique

Karima. GHAZOUANI, Safa. SKOURI Salwa BOUADILA, Aman Allah GUIZANI

Centre de Recherches et de Technologies de l'Energie, Laboratoire des procédés thermiques HammamLif, B.P.
95, 2050 Tunis, Tunisia (CRTEen), Borj Cédria.

skouri_safa@yahoo.fr
bouadilasalwa@yahoo.fr
amenallah.guizani@crten.rnrt.tn
karimaghazouani63@yahoo.com

Résumé : L'objectif des technologies solaires cylindro-paraboliques est d'atteindre un rendement thermique élevé. Pour les concentrateurs solaires, le principal facteur, pour le transfert de chaleur depuis les rayons solaires au fluide caloporteur qui passe dans le tube absorbeur, est d'avoir un coefficient élevé de transfert de chaleur convective. Dans ce travail, un collecteur cylindro-parabolique avec une surface d'ouverture de 10.8m^2 est construit et évalué au Centre de Recherche et des Technologies de l'Energie (CRTEen) Borj Cedria. Ce concentrateur est peut être utilisé pour différents applications. Pour améliorer le rendement thermique, réduire les pertes et atteindre la vapeur avec PTC, plusieurs tests ont été faits à CRTEen.

Mots clés : Concentrateur cylindro-parabolique, Production de vapeur, Performance thermique.

1. Introduction

Depuis plus d'un siècle, le monde connaît un important développement économique. La demande énergétique est augmentée grâce au développement industriel, la multiplication des équipements domestiques et l'augmentation du parc automobile. Les énergies fossiles comme le pétrole, charbon et gaz naturel ne sont pas inépuisables et les réserves pétrolières conventionnelles commencent à décliner. Si la consommation mondiale d'énergie continue à progresser à son rythme actuel, il est fort probable que la production de pétrole conventionnel ne suffise plus à satisfaire la demande dans un future proche. Afin de répondre à nos besoin, les gouvernements des pays développés cherchent à atteindre leur indépendance énergétique en développant des centrales nucléaires et en augmentant la contribution des énergies renouvelables dont principalement l'énergie solaire.

L'Afrique possède le plus important potentiel en énergie solaire au monde, celui-ci peut atteindre une valeur annuelle de l'ordre de $2000\text{Kw}/\text{m}^2$, il pourrait être capable de couvrir la plus grande partie de ses besoins énergétiques ce qui encourage l'implantation des technologies solaires à concentration en Tunisie

puisque'elle est un pays bien ensoleillé. Il existe un large éventail de ces technologies, notamment les centrales à capteur parabolique, à miroir de Fresnel, centrales à tour et les centrales à capteur cylindro-parabolique. Ces technologies sont utilisées pour plusieurs applications tel que la génération d'électricité et la production de vapeur. Plusieurs travaux sont intéressés à la génération de vapeur par les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques. E.Zarza et al.[1] ont présenté les principaux résultats du projet DISS qui a été implémenté à la Plataforma Solar de Almeria (PSA) en 1997-1998. Ce projet est intéressé à la production direct de vapeur (DSG) par les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques. JFM Escobar-Romero et al.[2] ont construit et testé un capteur solaire cylindro-parabolique comme un prototype pour la production de vapeur qui peut être coupler à un turbine afin de générer de l'électricité. Ils ont conclu que la température de production de vapeur est environ 200°C et à une pression de 12 kg/cm². Eck M et al.[3] ont intéressé à la production direct de vapeur pour les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques à une température de 500°C. Ils ont démontré qu'une approche pour accroître l'efficacité de ces systèmes est d'augmenter la température du bloc d'alimentation. Jusqu'à present, la température maximale de fonctionnement est environ 380°C selon la stabilité thermique de l'huile synthétique utilisée dans le domaine du collecteur. Venegas-Reyes E et al.[4] ont présenté la conception, la construction et l'évaluation d'un capteur cylindro-parabolique (PTC) avec une longueur de 4.88 m et une surface d'ouverture de 5.8 m². La performance thermique de la PTC a été déterminée selon Standard ASHRAE 93-1986 (RA 91). Bouvier J.L. et al.[5] ont présenté les caractéristiques expérimentaux du PTC alimentant un système micro-CHP (micro-cogénération). Ces auteurs ont montré que le système produit de la vapeur saturée pendant 8h avec une quantité supérieur à 0.6 pour un débit de 33 Kg/h. Le rendement thermique du collecteur est mesuré en se référant à la vapeur produite. Bouviera et al.[6] ont étudié un système de micro-cogénération composé d'un concentrateur cylindro-parabolique pour la production directe de vapeur qui est couplé à un cycle de Rankine. Le rendement thermique est proche de 38% pour une puissance de 19 Kw. Ces valeurs limites sont dues à la faible pression de fonctionnement (au maximum 26.3 bars), aux pertes thermiques élevées et à l'efficacité du collecteur solaire.

L'ensemble du travail est organisé comme suit :

Dans la section 2, l'étude expérimentale est décrite. Dans la section 3, les résultats expérimentaux sont présentés. Les principaux résultats trouvés au cours de ce travail sont rapportés dans la conclusion.

2. Etude expérimental

Un prototype de système de captation solaire qui est un concentrateur solaire cylindro-parabolique installé au Centre de Recherche et des Technologie de l'Energie de Borj Cedria (Figure 1). Ce prototype est constitué principalement de trois parties :

- Système de captation solaire : le réflecteur qui est constitué d'une tôle de dimension (4 m*2.7 m) courbé, pour donner la forme du cylindro-parabolique, couverte par une feuille en aluminium de réflectivité de l'ordre de 0.8.

La surface du réflecteur S_R peut s'écrire sous la forme suivante :

$$S_R = L d \quad (1)$$

Avec d et L représentent la longueur de la courbure du réflecteur et la longueur du réflecteur respectivement.

Ce système de captation est constitué aussi de tube absorbeur qui est constitué principalement d'un récepteur métallique (tube en inox) qui présente une bonne conductivité thermique, de longueur totale 4 m et de diamètre extérieur 0.07m. Il est localisé dans la zone focale du concentrateur. La distance focale f est définie par [7] :

$$f = \frac{x^2}{4y} \Rightarrow f = \frac{r}{\cos^2(\theta/2)} = \frac{(x^2 + y^2)^{1/2}}{\cos^2(\theta/2)} \quad (2)$$

Tableau 1 : Les caractéristiques géométriques du capteur solaire cylindro-parabolique.

Les paramètres géométriques	Valeurs	Unités
Longueur de tôle	4	<i>m</i>
Largeur de tôle	2.7	<i>m</i>
Angle de l'ouverture	76.3	<i>degré</i>
Distance focale	0.835	<i>m</i>
Surface d'ouverture	10.8	<i>m</i> ²
Longueur de tube	4	<i>m</i>

- Système de production de vapeur : l'échangeur de chaleur, deux pompes de circulation, la canalisation en inox et des accessoires.
- Système de fixation : le support métallique (Figure 1).



Figure 1: Prototype de concentrateur solaire -cylindro-parabolique.

Dans cette expérience, les rayons solaires qui arrivent sur le réflecteur du capteur cylindro-parabolique ont concentrés sur un tube horizontal appelé tube récepteur, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur. Un tube en verre transparent entoure le tube récepteur afin de réduire les pertes de chaleur. Le fluide caloporteur qui accumule l'énergie captée au niveau du tube récepteur est le plus souvent une variété d'huile thermique.

3. Résultats et interprétations

Une étude expérimentale de l'installation solaire à concentration pour la production de la vapeur munie d'un capteur cylindro-parabolique a été effectuée. Le test est réalisé le 03/06/2016 de 9h30 jusqu'à 16h00. Le suivi du soleil de CCP est assuré manuellement. Le concentrateur est orienté vers le sud pour une journée complète. Les rayons du soleil seront réfléchis vers le foyer du capteur et forment une tache solaire qui devrait apparaître sur l'absorbeur (Figure 2).



Figure 2 : La tâche solaire sur le tube absorbeur.

3.1. Etude expérimental des conditions climatiques

Les figures 3 et 4 présentent les conditions climatiques durant l'expérience. Nous représentons le rayonnement solaire globale (G) et la variation de la température ambiante (T_{amb}) et l'humidité relative (RH) en fonction de temps. Nous remarquons que le rayonnement maximale a atteint la puissance de 1065 w/ m^2 à 13h00. Dans la figure 4 nous observons la relation entre l'humidité (RH) et la température ambiante au cours du temps. La température ambiante varie entre 23°C et 26°C alors que l'humidité varie entre 58% et 37%, entre 9h45 à 13h50. Nous concluons que l'humidité est inversement proportionnelle à la température.

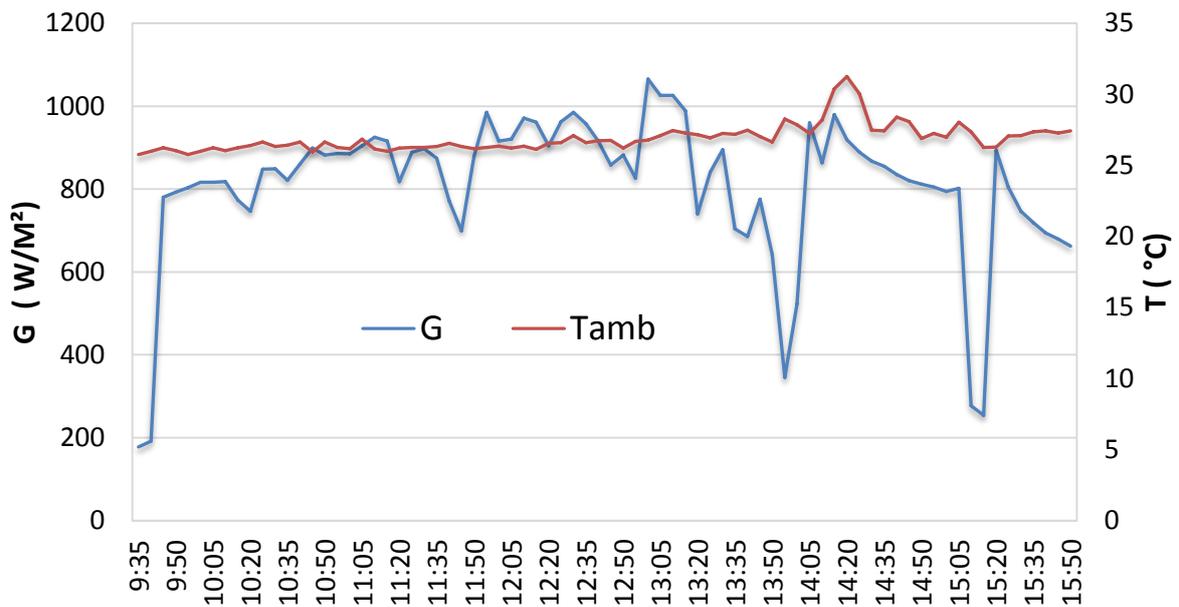


Figure 3: Variation du rayonnement solaire et de la température ambiante en fonction du temps le 03/06/2016.

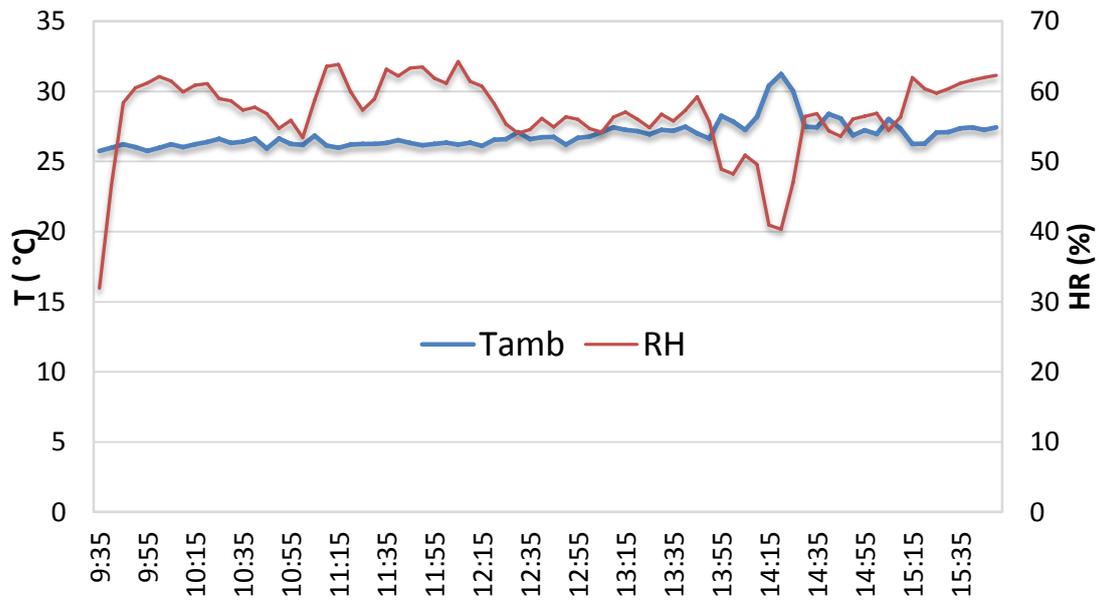


Figure 4: Variation de l'humidité et de la température ambiante en fonction du temps le 03/06/2016.

3.2. Evaluation du flux solaire concentrée

En régime permanent de fonctionnement, bilan énergétique global d'un capteur cylindro-parabolique est :

$$Q_u = Q_a - Q_p \quad (3)$$

Avec:

Q_a : Puissance solaire absorbée, (W/m^2),

Q_u : Puissance utile cédée au fluide caloporteur, (W/m^2),

Q_p : Puissance correspondante aux pertes thermiques, (W/m^2).

La figure 5 représente la variation journalière du flux solaire concentré et du rayonnement solaire globale (G) en fonction du temps. Nous remarquons que l'efficacité thermique du CCP présente des valeurs fluctuantes et que le flux solaire concentré atteint une valeur moyenne de l'ordre de $800 w/m^2$ pour un ensoleillement global de l'ordre de $1000 w/m^2$ ce qui montre que notre dispositif présente une qualité thermique et optique acceptable.

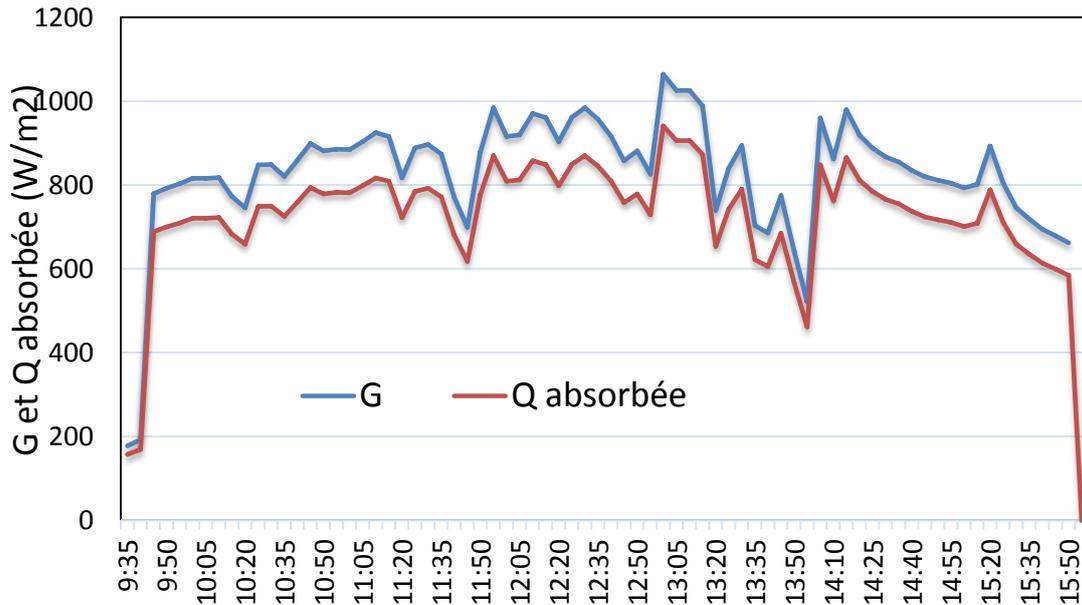


Figure 5 : Variation du flux solaire absorbée en fonction du temps.

3.3. Evaluation du rendement thermique du concentrateur solaire cylindro-parabolique

La mesure des performances d'un collecteur solaire est une étape importante et nécessaire pour la compréhension du fonctionnement du système. Cette efficacité thermique η se définit comme le rapport de l'énergie thermique absorbée par le récepteur à l'énergie reçue à l'ouverture du concentrateur et il est exprimé par :

$$\eta = Q_u / G_D \quad (4)$$

G_D est le flux solaire direct déterminé par un programme de calcul développé sur un logiciel MATLAB et en fonction du flux solaire globale mesurée (W/m^2).

La figure 6 représente la variation journalière du rendement thermique du concentrateur en fonction du temps. On remarque qu'au matin le rendement est faible parce que le fluide thermique prend du temps pour s'échauffer. A midi, on constate qu'il atteint une valeur maximale qui est de l'ordre de 30% puis il commence à décroître. Ceci est explicable par la variation journalière de l'ensoleillement.

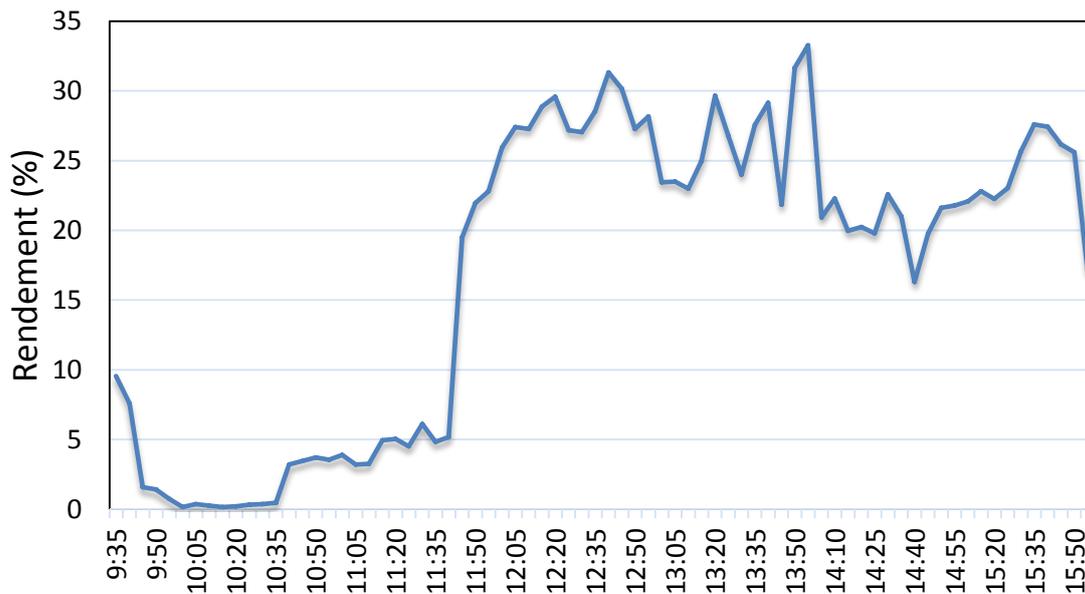


Figure 6: Variation journalière du rendement du concentrateur.

4. Conclusion

Ce travail est une contribution à l'étude énergétique d'un concentrateur cylindro-parabolique avec un suivi manuel. Avec ce collecteur, les rayons solaires sont concentrés au niveau de l'absorbeur qui est placé au foyer du concentrateur cylindro-parabolique. L'eau est chauffée à une température élevée pour produire de la vapeur. Dans cette étude expérimentale, le rayonnement maximal a atteint la puissance de 1065 W/m^2 à 13h00. La température ambiante varie entre 23°C et 26°C alors que l'humidité varie entre 58% et 37% entre 9h45 à 13h50. On a évalué aussi le flux solaire concentré qui a atteint une valeur moyenne de l'ordre de 800 W/m^2 pour un ensoleillement global de l'ordre de 1000 W/m^2 . Notre dispositif présente alors une qualité thermique et optique acceptable.

Enfin, nous avons évalué le rendement thermique du collecteur. Ce dernier a atteint une valeur maximale à midi qui est de l'ordre de 30%.

Références

- [1] Zarza, E., Valenzuela, L., Leo, J., Eck, M., Weyers, H., & Eickhoff, M. Direct steam generation in parabolic troughs : Final results and conclusions of the DISS project, 29, 635–644, 2004.
- [2] Lugo, L. I., Oliveira, G. N. De, Rodrigues, D. M. C., Mosquera, L., Rincon, O., Amezcua, R., ... Monroy, F. (n.d.). Building a parabolic solar concentrator prototype.
- [3] Eck, M., & Sanchez-biezma, A.. DIRECT STEAM GENERATION IN PARABOLIC TROUGHS AT 500°C A GERMAN-SPANISH PROJECT TARGETED ON ..., 2008 (March).
- [4] Energy, S., & Roo, Q. Design, construction, and testing of a parabolic trough solar concentrator for hot water and low enthalpy steam ..., June 2015
- [5] Bouvier, J., Michaux, G., Salagnac, P., Nepveu, F., Rochier, D., & Kientz, T Experimental characterization of a solar parabolic trough collector used in a micro-CHP (micro-cogeneration) system with direct steam generation. *Energy*, 83, 474–485, 2015
- [6] Bouvier, J., Michaux, G., Salagnac, P., & Kientz, T. Experimental study of a micro combined heat and power system with a solar parabolic trough collector coupled to a steam Rankine cycle expander. *Solar Energy*, 134, 180–192, 2016

[7] Abderraouf Meziani et Mohamed Temim, Étude d'un capteur solaire a eau avec effet de concentrateur de type cylindro-parabolique, 2005.

25-27 Octobre 2017
Monastir - Tunisie