



## **Etude numérique et expérimentale de la variation du débit du fluide caloporteur sur les performances du système concentrateur cylindro-parabolique sous un climat désertique Tunisien**

Anissa GHOMRASSI<sup>1</sup>, Hatem MHIRI<sup>1</sup>, Philippe BOURNOT<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Unité de thermique et thermodynamique des procédés industriels, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, route de Ouardanine, 5000 Monastir, Tunisie

<sup>2</sup>IUSTI, UMR CNRS 6595, 5 Rue Enrico Fermi, Technopôle de Château-Gombert, 13013 Marseille, France

*ghomrassi.anissa@hotmail.com*

*hatem.mhiri@enim.rnu.tn*

*bournot@univmed.fr*

**Résumé :** L'objectif principal de ce travail est d'évaluer les performances du système de concentration cylindro-parabolique dans le climat désertique tunisien. Pour atteindre cet objectif, un capteur cylindro-parabolique a été construit et testé expérimentalement dans le gouvernorat de Tozeur au sud ouest de la Tunisie. Le concentrateur cylindro-parabolique est orienté plein sud et incliné d'un angle égal à la latitude. Des essais expérimentaux ont été effectués toutes les 30 minutes avec un concentrateur stationnaire. L'effet du débit du fluide caloporteur sur la température de sortie de ce fluide et sur le rendement thermique du système a été étudié. En outre, une étude numérique a été développée par le logiciel TRNSYS pour déterminer les performances annuelles d'une configuration cylindro-parabolique typique sous un climat désertique Tunisien. Cette étude numérique est comparée et validée par les données expérimentales. Les résultats de simulation par TRNSYS sont en bon accord avec ceux expérimentaux. Une estimation de l'efficacité du système PTC opérant dans le climat désertique est donnée pour différents débits d'entrée de l'eau.

**Mots clés :**

Concentrateur cylindro-parabolique, mesures expérimentales, simulation par TRNSYS

### **1. Introduction**

La demande mondiale d'énergie et plus particulièrement l'énergie propre croît rapidement. La Tunisie dispose d'énormes ressources énergétiques renouvelables en particulier l'énergie solaire. L'une des techniques de conversion de cette forme d'énergie est l'énergie solaire concentrée (CSP). Parmi les systèmes CSP disponibles (concentrateur cylindro-parabolique, système à tour solaire, réflecteur à miroirs de Fresnel et parabole solaire), la technologie du système concentrateur cylindro-parabolique est l'une des technologies les plus appropriées pour l'exploitation de l'énergie solaire. Depuis les années 1970, de nombreuses études expérimentales et numériques ont été publiées sur le système concentrateur cylindro-parabolique. Cette technologie solaire représente la technologie solaire la plus mature pour produire de la chaleur à des températures jusqu'à 400° C et pour la génération d'électricité solaire [1]. Kalogirou et al [2] ont comparé les performances thermiques et les coûts des capteurs solaires à concentration et des capteurs plans pour différents niveaux de température. Les résultats de cette étude comparative montrent que les centrales solaires cylindro-paraboliques de petite taille sont rentables économiquement pour fournir de la chaleur entre 120°C et 200°C. Ces conclusions sont corroborées par les résultats obtenus par Riffelmann et al [3] qui ont également conclu que les réflecteurs cylindro-paraboliques sont les plus rentables économiquement. L'objectif de ce travail est d'évaluer les performances d'un système PTC sous un climat saharien tunisien. Pour cela, un capteur cylindro-parabolique a été construit et testé expérimentalement dans le gouvernorat de Tozeur au sud ouest de la Tunisie. En outre, une étude numérique par TRNSYS qui décrit le système PTC a été développée et les résultats numériques ont été validés par les données expérimentales.

### **2. Procédure expérimentale**

#### **2.1. Système concentrateur cylindro-parabolique (PTC)**

Le dispositif expérimental est composé essentiellement du concentrateur et du tube absorbeur. Le réflecteur est constitué de quatre miroirs polis de feuilles en aluminium. Il est de 3,64 m de longueur et 2 m de largeur. L'absorbeur est conçu en acier inoxydable. Il est revêtu d'une surface spécifique qui permet d'absorber presque entièrement le rayonnement solaire incident et réduire simultanément les pertes par rayonnement. C'est un tube sous vide en forme de U de 2 m de longueur et de 5,85 mm de diamètre intérieur. Ce récepteur est entouré par un tube concentrique en verre Pyrex de 58 mm de diamètre extérieur. Les paramètres géométriques du PTC sont détaillés dans le tableau 1. Le facteur de concentration CR= 101.

Table 1: Paramètres géométriques du PTC

Concentrateur cylindro-parabolique et tube récepteur	Value
Largeur d'ouverture, <i>m</i>	3.64
Distance focale, <i>m</i>	1.126
Diamètre intérieur du tube, <i>m</i>	0.00585
Diamètre extérieur du tube, <i>m</i>	0.00635
Diamètre intérieur de l'enveloppe en verre, <i>m</i>	0.047
Diamètre extérieur de l'enveloppe en verre, <i>m</i>	0.058
Longueur du collecteur, <i>m</i>	2
Réfectivité des miroirs	0.92
Transmissivité du tube en verre	0.93
Absorptivité du récepteur	0.9
Emissivité du récepteur	0.08



Figure 1: Schéma expérimental du PTC

## 2.2. Paramètres analysés et instruments de mesure

Les mesures expérimentales ont été relevées dans la ville de Tozeur. Le gouvernorat de Tozeur est situé au sud ouest de la Tunisie (latitude : 33,5°N, longitude : 8,133°E, altitude 44 heure locale). C'est une des régions les plus chaudes et sèches de la Tunisie. En effet, la température ambiante moyenne à cette région est de 27°C et cette température peut dépasser les 50°C. Tozeur est caractérisé par un ensoleillement moyen de 8.4 heures par jours et un rayonnement global entre 2 kWh / m<sup>2</sup> / jour and 12 kWh / m<sup>2</sup> / jour.

Le PTC était orienté plein sud et incliné de 34° au dessus de l'horizontale. Les mesures expérimentales ont été relevées le 2, 3 et 4 juillet 2012 chaque ½ h, de 6 heures à 20 heures. Les paramètres relevés sont les températures ambiantes  $T_a$ , les températures d'entrée  $T_i$  et de sortie  $T_o$  de l'eau et les rayonnements solaires  $G$ .

Les caractéristiques des instruments de mesure sont récapitulées dans le Tableau 2. Le rapport de conversion du solarimètre utilisé dans ces expériences est de:  $100 \text{ mV} \approx 1000 \text{ W/m}^2$ .

Table 2: Equipements expérimentaux

Paramètres	Unité	Instrument de mesure	Modèle
Température fluide T	$^{\circ}\text{C}$	Fluke	Fluke 63
Rayonnement solaire G	$\text{mV}$	Solarimeter	CR 100
Vitesse du vent v	$\text{m/s}$	Digital Anemometer	Ms6252A

### 2.3. Résultats expérimentaux

Le concentrateur solaire cylindro-parabolique a été testé pendant l'été. Les conditions climatiques décrites par le rayonnement solaire, la vitesse du vent et la température ambiante ont été également relevés et sont représentés sur la figure 2.

Pendant ces expériences, la plus forte intensité du rayonnement solaire incident était d'environ  $850 \text{ W/m}^2$ , la moyenne maximale de la température ambiante était de  $38^{\circ}\text{C}$  et ces valeurs maximales étaient notées entre 12h et 16 h (voir figure 2). Cette constatation est une caractéristique du climat Désertique. En effet, la température ambiante reste élevée jusqu'au plus de 16h. La distribution de la vitesse du vent est également illustrée à la figure 2. En fait, la variation de la vitesse du vent est aléatoire, elle est modérément forte le matin et faible l'après-midi.

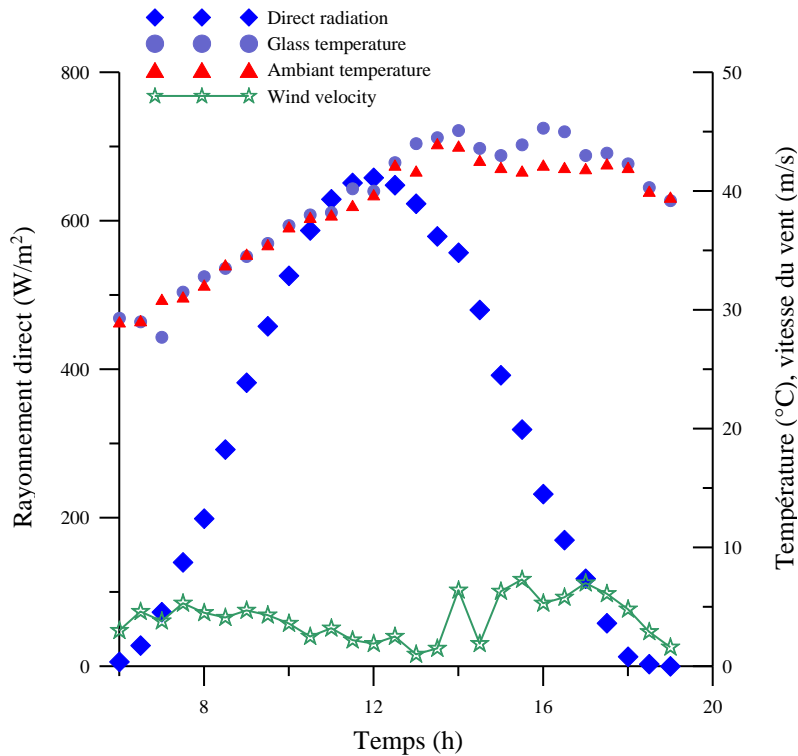


Figure 2 : Conditions météorologiques pour le 04/07/2012

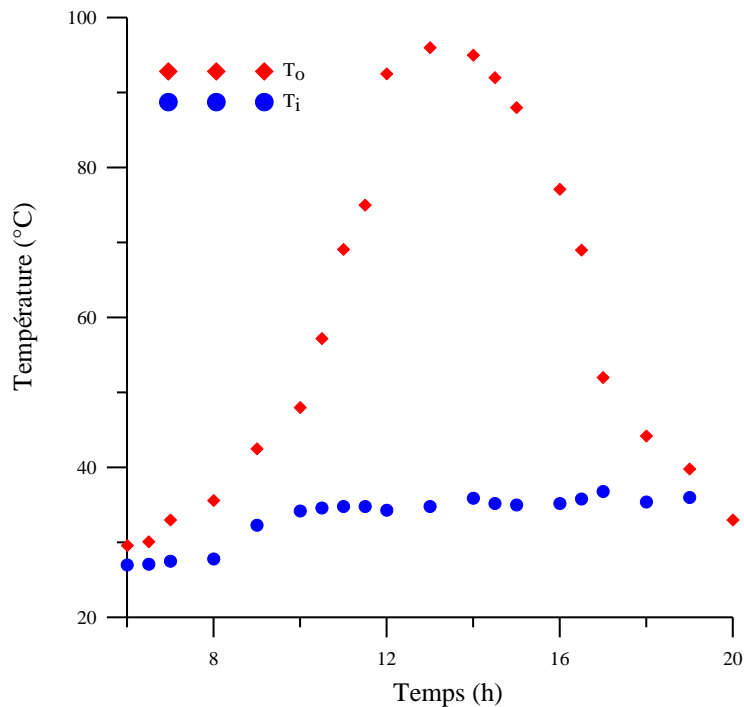


Figure 3: Evolution des températures du fluide caloporteur le 04/07/2012

### 3. Simulation par TRNSYS

#### 3.1. Hypothèses et procédure de la simulation

Le modèle d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique a été mis en œuvre par TRNSYS [4] pour permettre d'effectuer des simulations dynamiques annuelles à des emplacements géographiques différents. Le modèle global de l'installation est constitué essentiellement d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique intégré dans la bibliothèque STEC. La modélisation débute par la création des différents composants nommés « types » et par suite préciser les variables et les paramètres adéquats pour chaque composant. Par suite, les interconnexions de ces composants du système permettent la résolution des équations différentielles. La bibliothèque STEC est une bibliothèque de TRNSYS qui se compose de certains modèles appropriés pour les systèmes à concentration solaires (récepteur central, champs d'héliostat et concentrateurs cylindro-paraboliques) et pour le stockage [5].

#### 3.2. Validation du modèle du système PTC

Le but de cette étude est de créer un modèle par TRNSYS qui prédit correctement le comportement du système concentrateur cylindro-parabolique conçu et mis en marche sous un climat désertique du sud Tunisien. Afin de valider le modèle, les résultats sont comparés aux données expérimentales détaillées dans la partie précédente. Un schéma du modèle réalisé par TRNSYS est représenté sur la figure 4. Les données météorologiques incluse dans un sous programme intégré dans TRNSYS seront adaptés pour générer des conditions météorologiques horaires et des valeurs moyennes mensuelles du rayonnement global quotidien sur une surface horizontale, des rayonnements diffus, des températures ambiantes et des vitesses du vent. La figure 5 montre l'évolution des températures de sortie du fluide caloporteur mesurées le 04/07/2012 et calculées par TRNSYS. Les résultats de simulation sont en bon accord avec les données mesurées.

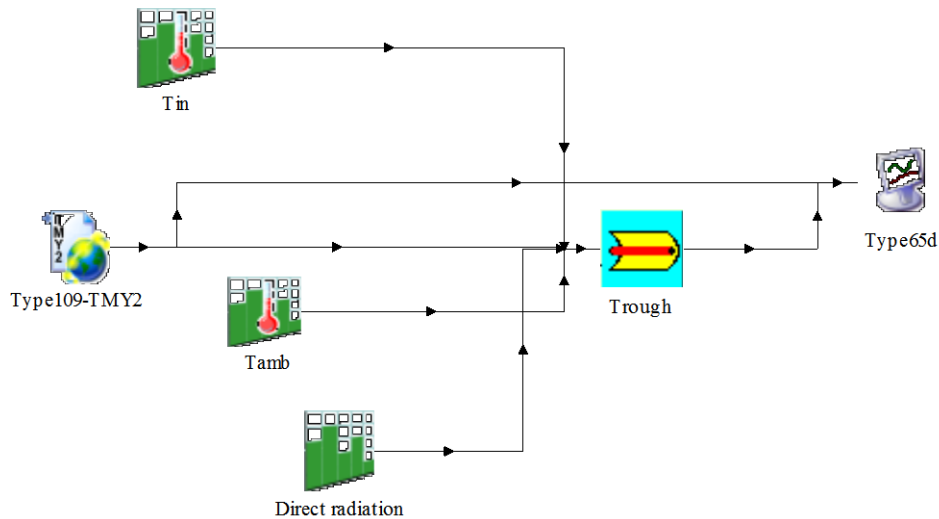


Figure 4 : le modèle PTC par TRNSYS

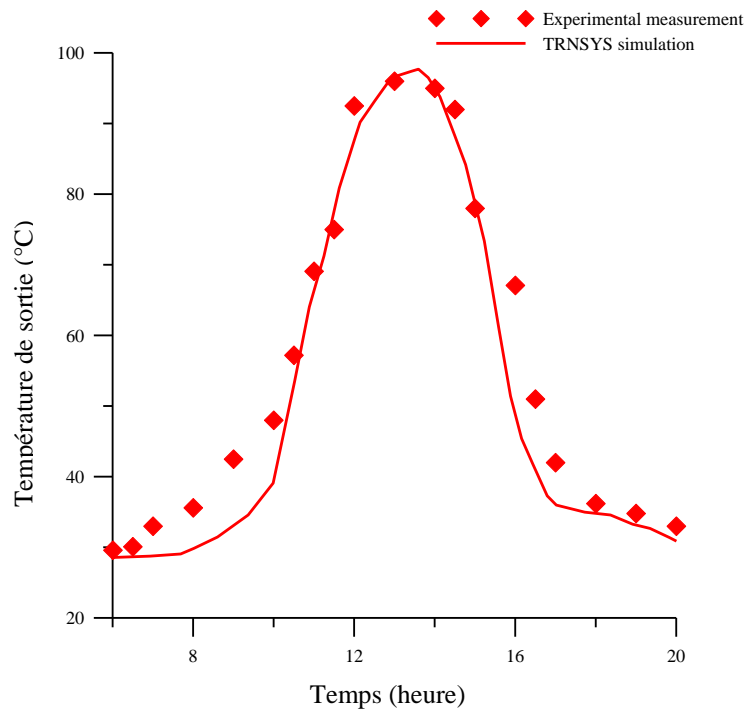


Figure 5: Comparaison des températures de sortie par TRNSYS et ceux expérimentaux mesurés le 04/07/2012

### 3.3. Effet de la variation du débit du fluide caloporteur

Le débit du fluide caloporteur est l'un des paramètres importants qui influe sur les performances du système PTC. La figure 6 montre l'effet du débit d'entrée de d'eau sur la température de sortie de l'eau. Lors de ces essais, le concentrateur fixe a été orienté plein sud à un angle d'inclinaison égal à la latitude. Nous notons qu'avec l'augmentation du débit massique, la température de sortie de l'eau diminue. Ce résultat est justifié par le fait que si on augmente le débit massique pour une section donnée, la vitesse d'écoulement augmente, ce qui diminue le temps de séjour du fluide dans le tube absorbeur, cela signifie que le fluide n'a pas beaucoup de temps pour absorber le maximum de chaleur.

Les résultats de simulation par TRNSYS pour différents débits de l'eau testées sont représentés sur la figure 7.

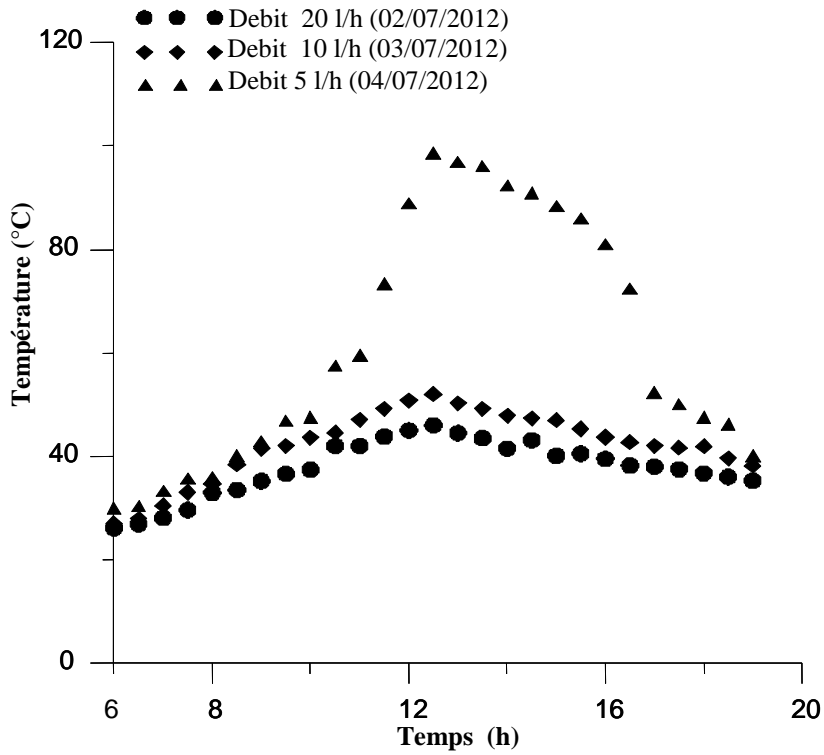


Figure 6 : Effet de la variation du débit sur la température de sortie de l'eau

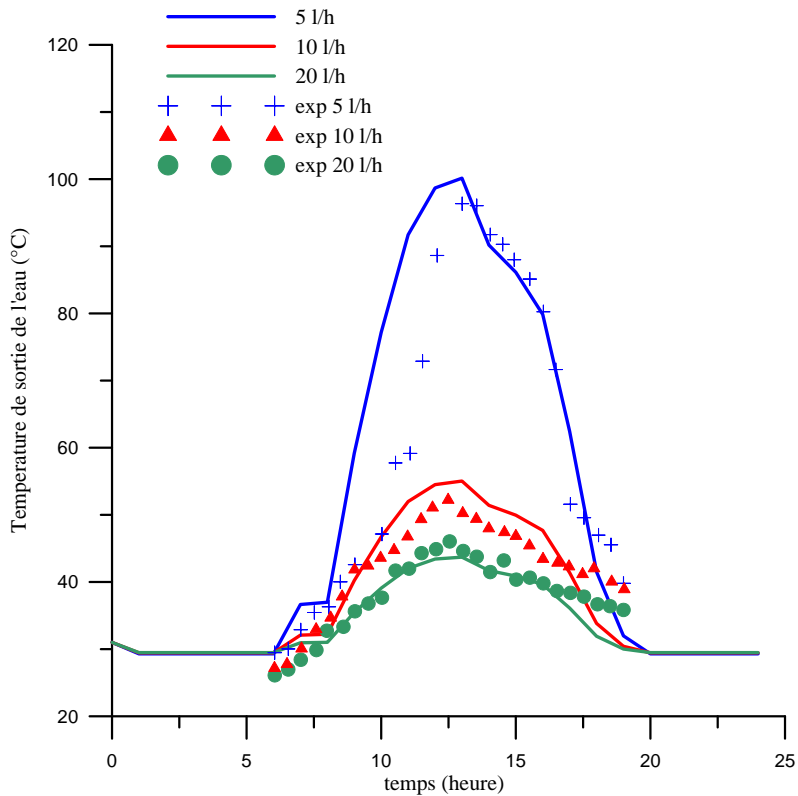


Figure 7 : Effet de la variation du débit sur la température de sortie de l'eau (résultats numériques et expérimentaux)

Afin de bien évaluer les performances d'un tel système, les rendements thermiques pour différents débits de l'eau à l'entrée sont représentés sur la figure 8. Il est à noter que l'augmentation du débit de l'eau entraîne une

augmentation du rendement thermique jusqu'à atteindre un rendement constant pour un débit de 40 L/h. Au delà de cette valeur aucune augmentation du rendement du système PTC n'est observée.

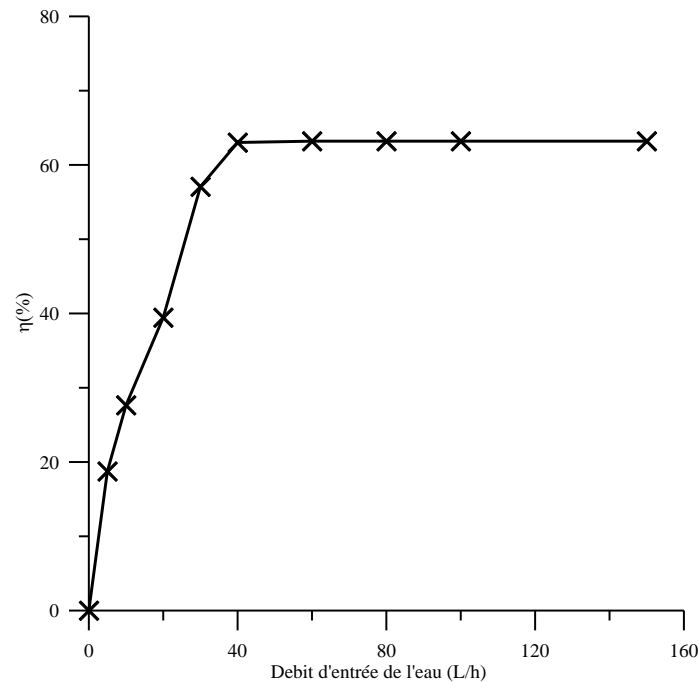


Figure 8 : variation du rendement thermique du système PTC en fonction du débit de l'entrée de l'eau

## Conclusion

Un système PTC a été construit et testé expérimentalement sous un climat désertique tunisien. Une étude numérique a été développée par TRNSYS. Cette étude numérique est comparée et validée par les données expérimentales. L'effet de variation du débit du fluide caloporteur a été étudié. On remarque que l'augmentation du débit entraîne une diminution de la température de sortie de l'eau. Mais en calculant les rendements thermiques pour différents débits d'entrées de l'eau à l'entrée, on peut noter que le rendement thermique augmente en augmentant le débit du fluide caloporteur mais à partir d'un débit critique le rendement reste inchangé.

## Nomenclature

$T_a$	Température ambiante, °C
$T_i$	température d'entrée de l'eau, °C
$T_o$	température de sortie de l'eau, °C
$G$	rayonnement solaire, $W/m^2$

## Symboles grecs

$\eta$  rendement thermique, %

## Indices

PTC	concentrateur cylindro-parabolique
CSP	Energie solaire concentrée
CR	Facteur de concentration

## Références

- [1] P. Sansoni, Fontani D, F. Francini, A. Giannuzzi, E. Sani et L. Mercatelli, Optical collection efficiency and orientation of a solar trough medium-power plant installed in Italy, *Renewable Energy*, 36(9), Pages 2341–2347, 2011.
- [2] S. Kalogirou, Parabolic trough collector system for low temperature steam generation: design and performance characteristics, *Applied Energy*, Volume 55(1), Pages 1–19, 1996.
- [3] K.J. Riffelmann, A. Neumann, S. Ulmer, Performance enhancement of parabolic trough collectors by solar flux measurement in the focal region, *Solar Energy*, Volume 80, Issue 10, Pages 1303–1313, 2006.
- [4] TRNSYS program Manual. University of Wisconsin, Madison, USA: Solar Energy Laboratory,

[5] P.Schwarzbözl, A TRNSYS Model Library for Solar Thermal Electric Components (STEC), Reference Manual Release 3.0 Köln, Germany, November 2006.