

ÉTUDE NUMÉRIQUE TRIDIMENSIONNELLE DES CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DU TUBE ABSORBEUR D'UN CAPTEUR SOLAIRE CYLINDRO-PARABOLIQUE

BAADACHE Khireddine¹, BOUGRIOU Cherif²

¹Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URERMS,
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, Adrar, Algérie, khbaadache@yahoo.fr
²LESEI, Département de Mécanique, Faculté de Technologie, Université de Batna 2, Batna, Algérie

RÉSUMÉ

Le présent document présente une étude numérique et thermique de l'absorbeur d'un capteur solaire cylindro-parabolique, l'absorbeur est constitué de deux tubes coaxiaux, l'extérieur est en verre et l'intérieur en métal, il est soumis au rayonnement solaire direct et diffus en plus de rayonnement réfléchi et concentré par le miroir cylindro-parabolique. L'absorbeur a été modélisé comme un tube métallique dans lequel circule un fluide caloporteur (therminol-vp1). Le flux solaire a été modélisé en utilisant (Solar load Model) pour la région d'Adrar, l'analyse complète et la résolution de système d'équations ont été effectuées en utilisant la méthode des volumes finies à l'aide du code CFD ANSYS FLUENT.

Mots Clés : *capteur solaire, absorbeur, rayonnement solaire, Solar load Model.*

NOMENCLATURE

Symboles :	u, v, w composant de vitesse, $m.s^{-1}$
I intensité de rayonnement, $W.m^{-2}$	g_i accélération de la gravité, $m.s^{-2}$
Pr nombre de Prandtl	k énergie cinétique turbulente
Re nombre de Reynolds	α absorptivité
T température, K	τ transmetivité
P pression, $N.m^{-2}$	μ viscosité dynamique (Pa s)
Lettres grecques :	R réflectivité
ρ masse volumique, $kg.m^{-3}$	
λ conductivité thermique, $W.m^{-1}.K^{-1}$	

1. INTRODUCTION

Le capteur solaire cylindro-parabolique à absorbeurs tubulaires sous vide est l'un des principales technologies utilisées actuellement dans les centrales solaires thermiques pour la production de l'énergie électrique (température de fonctionnement entre 300°C et 400°C), et utilisé aussi pour la production de chaleur pour l'industrie (température de fonctionnement entre 100°C et 250°C). L'élément important constituant le capteur solaire est le collecteur thermique qui est composé par l'absorbeur plus la vitre, son rôle est de transférer l'énergie solaire en énergie thermique, Figure 1.

Ces dernières années, beaucoup de recherches ont été effectuées sur tous les types de capteurs solaires. Alors que certains visent à réduire les coûts et l'amélioration des performances par de nouveaux modèles, d'autres ont été

axées sur l'amélioration de la fiabilité du récepteur de tube, les performances du revêtement sélectif, et de nouvelles méthodes de mesure pour tester le système cylindro-parabolique [1,2] La plupart des modèles sont basées sur des études de simulation avec l'analyse 1D ou 2D, le flux solaire et le débit sont toujours supposés uniformes, et les nombreuses corrélations utilisées dans les modèles sont également basés sur une température constante. Toutefois, en raison du flux solaire non uniforme sur la surface extérieure du tube absorbeur intérieur, le débit est chauffé de manière asymétrique et donc non uniforme [7,8].

Balbir et al [1] on réalisé une étude de dimensionnement d'un capteur solaire cylindro-parabolique, l'étude visait à améliorer le rendement et à réduire le cout du capteur solaire fonctionnat avec de l'huile synthétique et de l'eau. Campo [3] a développé une méthode algébrique simple pour améliorer le transfert de chaleur en régime turbulent dans un tube cylindrique pour différents gaz. Grald [4] a réalisé une étude paramétrique pour déterminer l'influence des propriétés thermophysiques et la performance du capteur solaire cylindro-parabolique.

La présente étude porte sur l'analyse du phénomène de transfert de chaleur par la modélisation complète HCE en utilisant le code CFD basé sur la méthode des volumes finis « ANSYS FLUENT 16 ». Le rayon solaire a été tracée tout au long d'une journée d'été à ADRAR (Localisation géographique -0,27 N 28 E)

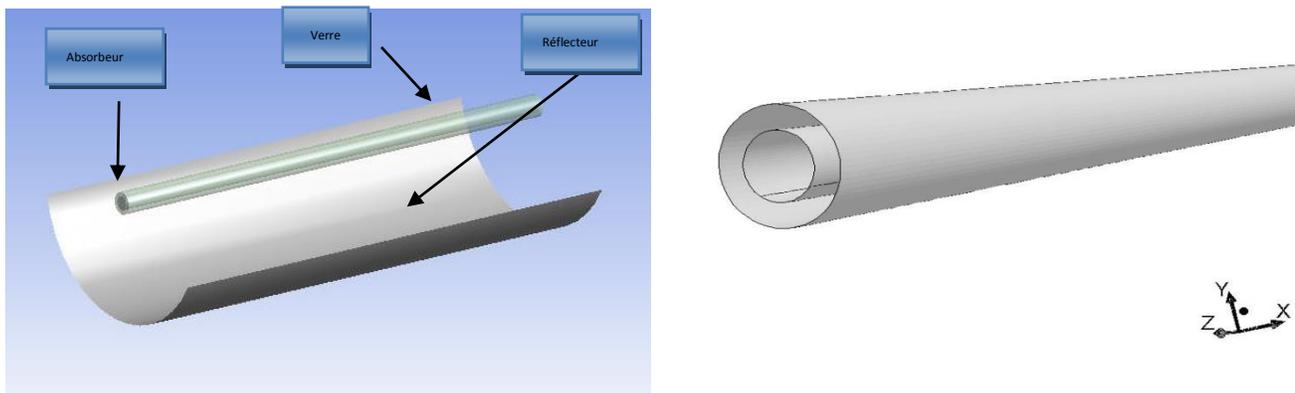


Figure 1: capteur solaire cylindro-parabolique

2. MODELE MATHEMATIQUE

L'élément important qui constitue le capteur solaire c'est le collecteur thermique composé de l'absorbeur en plus de la vitre dans lequel le fluide thermique Therminol-VP1 TM [5] circule. Les propriétés des fluides sont très dépendant de la température et les fonctions requises pour ces propriétés sont récapitulées dans le Tableau 1.

Les équations de conservation qui régissent le phénomène peuvent être s'écrire comme suit [6] :

- Equation de continuité

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

- Equation de mouvement

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-\rho \delta_{ij} + \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g_i \quad (2)$$

- Equation d'énergie

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C_p T) - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] = S_T \tag{3}$$

- Equation de l'énergie cinétique turbulente

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \bar{G}_k - Y_k + S_k \tag{4}$$

- Equation de la dissipation de l'énergie cinétique

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho w) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho w u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_w \frac{\partial w}{\partial x_j} \right) + \bar{G}_w - Y_w + S_w + D_w \tag{5}$$

Propriété	Fonctions (T en °C)
Masse volumique, (kg.m ⁻³)	0.90797 T + 0.00078116 T ² - 2.367 10 ⁻⁶ T ³ + 1083.25
Chaleur massique, (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	0.002414 T + 5.9591 10 ⁻⁶ T ² - 2.9879 10 ⁻⁸ T ³ + 4.4172 10 ⁻¹¹ T ⁴ + 1.498
Conductivité thermique (W.m ⁻¹ . K ⁻¹)	-8.19477 10 ⁻⁵ T - 1.92257 10 ⁻⁷ T ² + 2.5034 10 ⁻¹¹ T ³ - 7.2974 10 ⁻¹⁵ T ⁴ + 0.137743
Viscosité Dynamique, (Pa.s)	$\rho \cdot 10^{-6} \cdot \text{Exp}[(544.149/(T+114.43))-2.59578]$

Tableau 1 : Propriétés thermophysiques du Therminol-VP1

Le module (Solar Load Model) de ANSYS FLUENT fournit un modèle qui peut être utilisé pour calculer les effets des rayonnements provenant des rayons du soleil qui pénètrent dans un domaine de calcul. Il inclut un utilitaire de calculatrice solaire qui peut être utilisé pour construire l'emplacement du soleil dans le ciel pour un temps donné de la journée, la date et la position et peut être utilisé pour modéliser les flux stables et instables. Il permet de simuler des effets de charge solaire et à déterminer la transmission de l'énergie solaire à travers toutes les surfaces vitrées, au cours d'une journée. Les entrées typiques nécessaires sont la position globale (latitude, longitude et fuseau horaire), la date de départ et le temps, l'orientation de la grille, la méthode d'irradiation solaire et le facteur d'ensoleillement. L'orientation de la grille est spécifiée dans le Nord (axe Y négatif, dans le cas présent) et de l'Est (axe Z positif, dans le cas présent) vecteur de direction dans la grille CFD avec la méthode d'irradiation solaire par défaut des conditions météorologique.

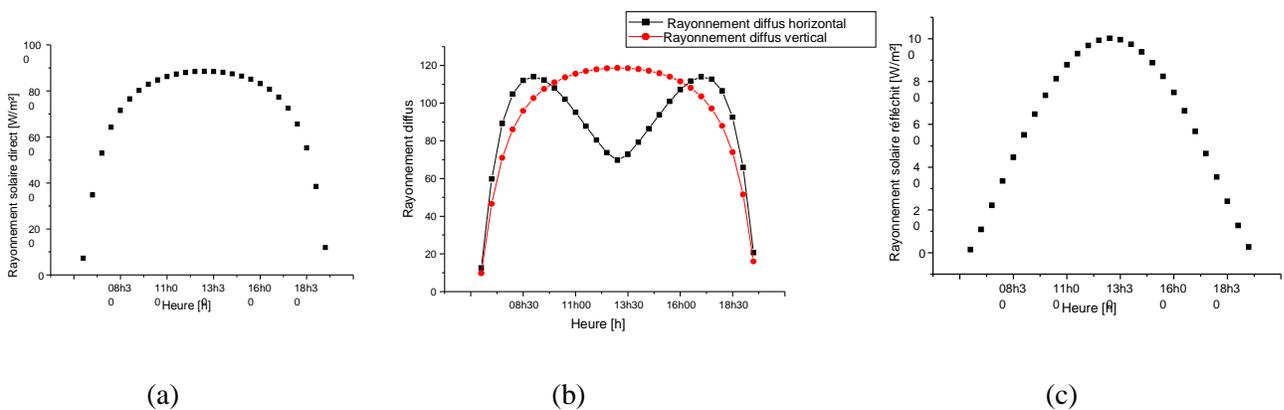


Figure 2 : Rayonnement solaire direct et diffus

3. RESULTATS

Les analyses des simulations ont été effectuées en utilisant le logiciel ANSYS FLUENT

3.1 Flux solaires

L'effet d'ombrage était un point important pour la détermination de la précision du modèle de charge solaire et du flux de chaleur solaire final, les Figure 3, 4 confirment cette approche de modélisation. On constate que le flux solaire est bien présent sur la face opposée du tube absorbeur et le verre, la figure présente la tache du flux solaire pour différentes instants de la journée (matin, midi et après midi). On constate que la valeur de flux maximal apparue sur la face opposée au soleil et la dégradation du flux est en fonction de l'angle parce qu'avec la variation de l'angle, la normale de la surface ne sera pas perpendiculaire au rayonnement solaire, et la valeur maximale de 748 W/m^2 est enregistré à midi.

3.2 Variation de la température

La figure 5 montre la variation de la température de fluide caloporteur le long de tube absorbeur, on constate que la température augmente pour arriver à une valeur de $600 \text{ }^\circ\text{C}$ [6] à la sortie de l'absorbeur, cette augmentation est due principalement au flux thermique concentré par le miroir réflecteur. La figure 7 présente une comparaison entre la température de l'absorbeur et le verre isolant pour les deux saisons l'été et l'hiver. On constate que les plus grandes températures sont enregistrées en été. La figure présente un contour tridimensionnel de la variation de la vitesse de fluide caloporteur en fonction de la position. La figure 8 présente la variation de des propriétés thermophysiques de fluide caloporteur en fonction de la longueur du capteur, on constate que la viscosité diminue le long du tube absorbeur à cause de l'augmentation de la température le long du tube absorbeur par contre les autres propriétés augmentent avec l'augmentation de la température le long de l'absorbeur.

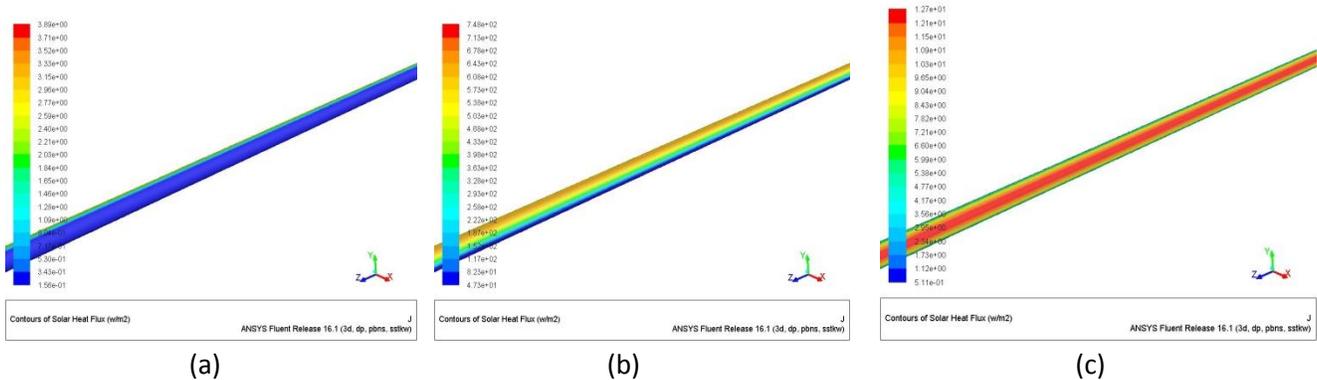


Figure 3 : flux solaire sur le tube absorbeur (a) matin, (b) midi, (c) après midi

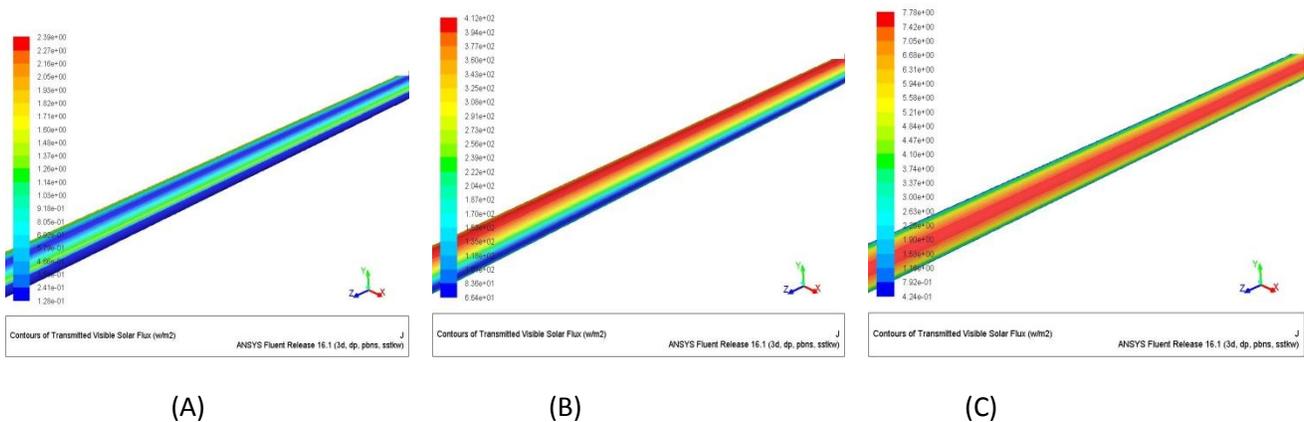


Figure 4 : flux solaire visible transmise sur le verre (A) matin, (B) midi, (C) après midi

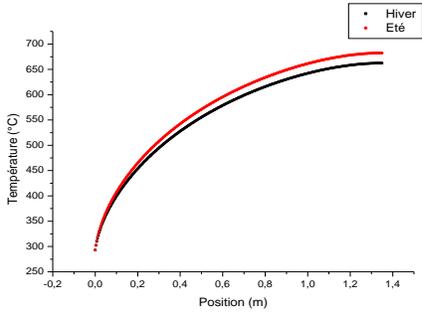


Figure 5 : Profil de température du fluide caloporteur

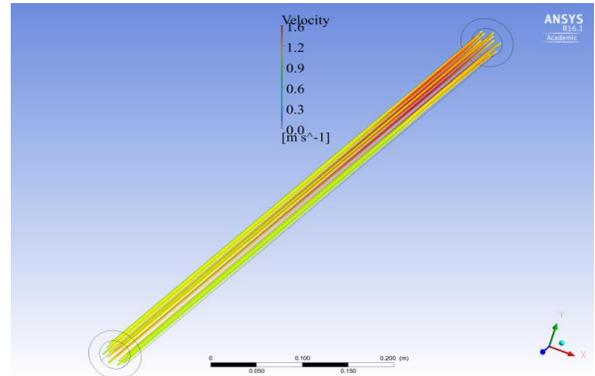
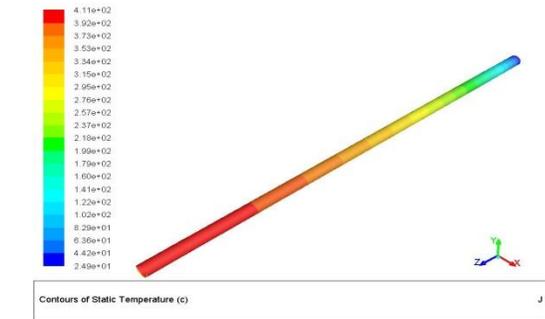
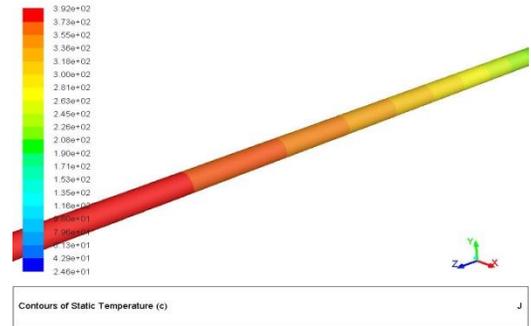


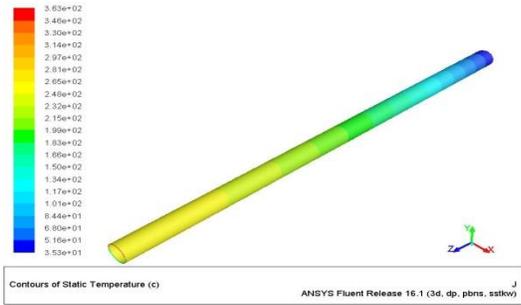
figure 6 : variation de vitesse en fonction la position



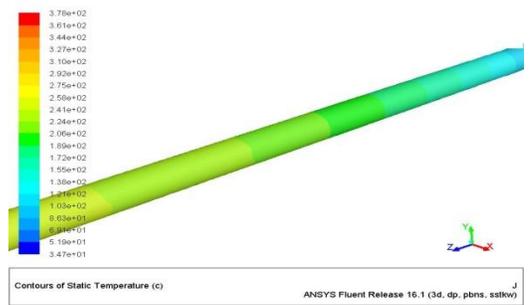
(a)



(b)

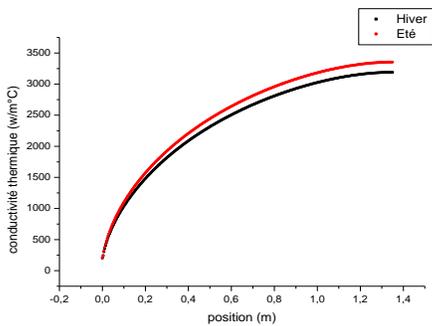


(c)

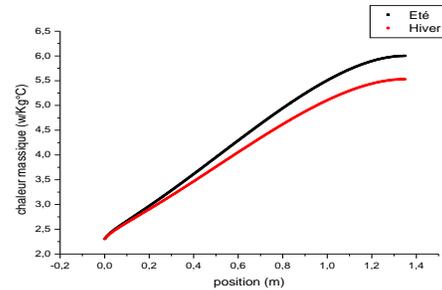


(d)

Figure 7 : comparaison pour les deux saisons Été et Hiver de la température de l'absorber et le verre



(a)



(b)

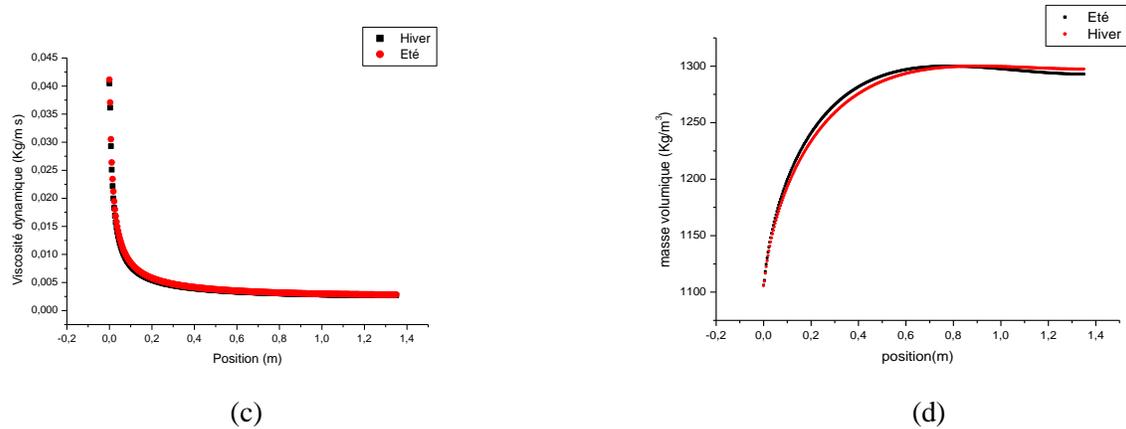


Figure 8 : propriétés thermo-physique en fonction de la position

4. CONCLUSIONS

Dans cette étude on a analysé les mécanismes de transfert de chaleur en 3D dans l'absorbeur d'un capteur solaire cylindro-parabolique, le rayonnement solaire a été modélisé en utilisant Ray-Tracing pour présenter la tache solaire. La distribution du flux de chaleur et l'évolution de la température ont été réalisées en résolvant les équations (continuité, énergie et quantité de mouvement) en régime turbulent pour des propriétés thermophysiques du fluide variables avec la température et l'écart de température à la sortie de l'absorbeur pour les deux saisons (Eté et Hiver) est de 20 °C. Les résultats montrent une bonne concordance avec la littérature, et le Solar Load Model est un outil très utile pour la simulation de rayonnement solaire direct et diffus.

REFERENCES

- [1] Mahinder Singh, B. S., and Sulaiman, F., Designing a Solar Thermal Cylindrical Parabolic Trough Concentrator by Simulation, *World Climate & Energy Event, Rio de Janeiro, Brazil*, pp. 143–149, 2003.
- [2] Odeh, S. D., Morrison, G. L., and Behnia, M., Thermal Analysis of Parabolic Trough Solar Collectors for Electric Power Generation, *Energy Conversion and Management*, vol. 44, no.15, pp. 2425–244, 2003.
- [3] Campo, A., Quick Identification of Gases for Enhancing Heat Transfer in Turbulent Pipe Flows Using Standard Correlation Equations for the Convective Coefficient and the Friction Factor, *Applied Thermal Engineering*, vol. 25, pp. 2029–2038, 2005
- [4] Grald, E. W., Performance Analysis of a Parabolic Trough Solar Collector with a Porous Absorber Receiver, *Solar Energy*, vol. 42, pp. 281–292, 1989.
- [5] K. S. Reddy , K. Ravi Kumar & G. V. Satyanarayana Numerical Investigation of Energy-Efficient Receiver for Solar Parabolic Trough Concentrator, *Heat Transfer Engineering* , 29(11):961–972,
- [6] Ganesh Visavale, CFD Analysis of a Heat Collector Element in a Solar Parabolic Trough Collector *International Conference on Applications of Renewable and Sustainable Energy for Industry and Society", Hyderabad (REIS-2010)*
- [7] O. García-Valladares, N. Velázquez Numerical simulation of parabolic trough solar collector: Improvement using counter flow concentric circular heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52 (2009) 597–609
- [8] Fernandez-Garcia, E. Zarza, L. Valenzuela, M. Perez. (2010) Parabolic-trough solar collectors and their applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, pp. 1695-1721.