



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 13et 14 Octobre 2014



Validation des résultats de la modélisation numérique pour la conception d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique

Nourreddine NOUAH¹, Nabil DJENNAOUI¹, Tinhinane HASSANI¹

¹ Laboratoire de mécanique énergétique et systèmes de conversion, département thermo-énergétique USTHB, FGM&GP/ BP, 32 El Alia Bab Ezzouar, Alger, Algérie.

tinhinanehassani@gmail.com

Résumé :

La plus grande ressource d'énergie techniquement accessible sur la planète est disponible dans les régions désertiques. Nous allons étudier plus particulièrement l'énergie solaire qui permet de récupérer la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, cela par la conversion de l'énergie noble (énergie solaire) en énergie thermique par la mise en œuvre des capteurs solaires thermiques. Les centrales thermiques solaires à concentration (appelées aussi Concentrating Solar Power -CSP) sont idéales pour produire de l'électricité de manière sûre.

L'objectif du travail consiste à faire une modélisation et simulation numérique d'un transfert de chaleur d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique pour la détermination de la variation de la température de sortie et la puissance utile en fonction du temps solaire vrai qui a été comparés avec les résultats obtenus de Nevada..

Mots clés : énergie solaire, concentrateur cylindro-parabolique, centrale thermique

Abstract:

The largest energy resource technically accessible on the planet is available in desert regions. We will study in particular solar energy that recovers heat from solar radiation in a fluid, by converting the noble energy (solar energy) into thermal energy by the implementation of solar thermal collectors. The concentrating solar thermal power plants (also called Concentrating Solar Power, CSP) are ideal for producing electricity safely. This study is the modeling of heat transfer of the solar collector parabolic trough which was compared with the results obtained from Nevada. The objective of the labor is to determine the variation of the outlet temperature of the sensor, the solar light and the useful power in a selected area.

Keywords: solar energy, parabolic trough concentrator, thermal power

Abréviation :

Q_u : La quantité d'énergie transmise au fluide caloporteur (énergie utile).

Q_{abs} : La quantité d'énergie reçue par l'absorbeur.

Q_p : La quantité d'énergie perdue.

F_r : Facteur de dissipation de la chaleur

F' : Facteur d'efficacité du miroir.

η_{op} : Rendement optique du concentrateur.

T_a : Température de l'absorbeur (la température de fluide caloporteur).

T_{amb} : Température ambiante.

U_L : Coefficient de perte thermique.

C : Le rapport de concentration.

A_r : La section de récepteur.

A_a : La section de l'absorbeur.

\dot{m} : Débit massique de fluide caloporteur.

W : L'ouverture ou le diamètre de l'ouverture de capteur.

U_L : Coefficient global des pertes thermiques, [W/m².K].

$D_{A,i}$: Diamètre intérieur du tube absorbeur, [m].

$D_{A,e}$: Diamètre extérieur du tube absorbeur, [m].

e_g : Epaisseur de l'enveloppe transparente en verre, [m].

h_v : Coefficient du transfert par convection du au vent, [W/m².K].

K_v : Conductivité thermique de l'enveloppe en verre, [W/m. K].

T_A : Température de l'absorbeur, [K].

T_v : Température de la vitre, [K].

ϵ_A : Emissivité du tube absorbeur.

ϵ_v : Emissivité de l'enveloppe transparente en verre.

INTRODUCTION :

Une importance particulière est en train d'être accordée à la recherche dans le domaine des énergies renouvelables, ceci pour plusieurs causes



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 13et 14 Octobre 2014



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. L'eau, le soleil, le vent, les végétaux, les marées, la chaleur de la terre peuvent fournir de l'énergie propre qui favorise un développement durable. Parmi les sources utilisées pour le remplacement des énergies produites des combustibles fossiles on retrouve le soleil qui représente la source primaire de production d'énergie, l'énergie produite par le Soleil suite à la réaction de fusions nucléaires est rayonnée et émise dans toutes les directions et reçue par la terre. Ce flux solaire est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption ou diffusion, suivant les conditions météorologiques et la latitude du lieu. L'énergie solaire c'est une source d'énergie naturelle, on peut la capter par des méthodes basées sur des techniques différentes comme exemple les capteurs plan, les capteurs photovoltaïques et les tours solaires.

Dans ce travail on a exposé une validation des résultats de modélisation d'un capteur solaire plan à concentration cylindro-parabolique, dans un premier lieu on a validé cette modélisation en analysant les résultats obtenus d'un programme Fortran construit pour l'évolution de la température de sortie et les pertes de charge enregistrées dans d'un concentrateur cylindro-parabolique et ensuite les comparés avec des résultats enregistrés par le NEVADA

PRINCIPE DE CAPTATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE :

Le capteur plan est considéré comme un simple absorbeur de rayonnement solaire direct et diffus qui les transforme en chaleur. Le rayonnement solaire est non seulement absorbé par le ciel, mais aussi par tout l'environnement [1]. Un capteur plan est relativement insensible aux conditions du ciel, dont la réalisation ne demande pas une conception compliquée. Cependant, la conception d'un collecteur avec effet de concentration, fait appel à des techniques plus au moins complexes dont le principe consiste à focaliser le rayonnement incident sur un absorbeur de surface réduite que la surface d'ouverture du collecteur, afin d'augmenter la concentration du rayonnement direct aux niveaux de l'absorbeur. Les capteurs plans utilisent le

rayonnement diffus provenant du ciel et du sol, par contre les concentrateurs n'utilisent que le rayonnement direct. La **Figure.1** montre le principe de captation par les deux types de conversion thermique de l'énergie solaire.

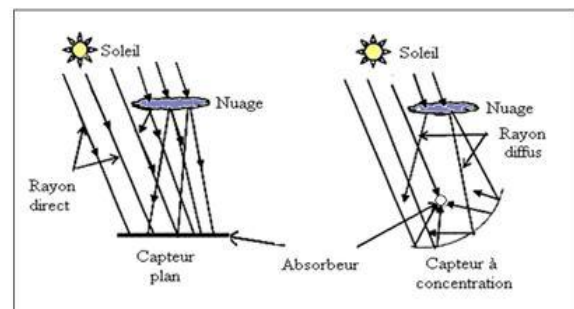


Figure.1 : le principe de captation de l'énergie solaire

Les concentrateurs solaires utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques (CCP) pour concentrer les rayons solaires respectivement dans un foyer ponctuel ou linéaire. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. La **figure 2** représente les différentes technologies des capteurs solaires à concentration

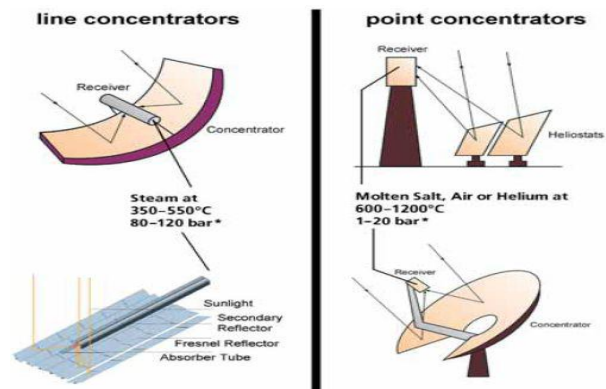


Figure 2 : Principales technologies de concentration solaire

Naturellement, ces concentrateurs doivent suivre le mouvement apparent du soleil, dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400°C, on peut obtenir des températures plus élevées jusqu'à 1500°C pour les concentrateurs ponctuelles. Ces types de collecteurs solaires sont plus adaptés pour la production de chaleur industrielle et d'électricité. L'utilisation des systèmes à concentration présentent des avantages



et des inconvénients. La figure 3 présente le principe de captation de l'énergie solaire d'un concentrateur solaire

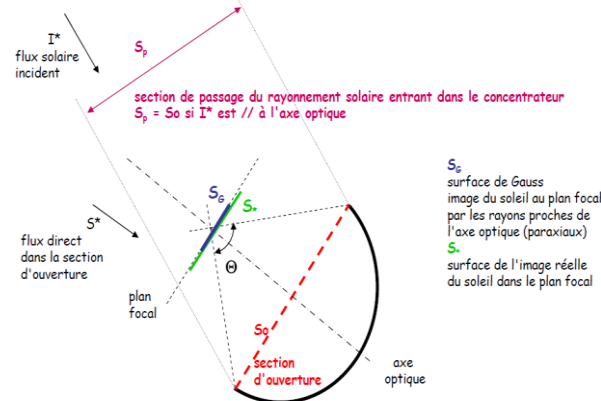


Figure 3 : schéma de principe d'un concentrateur solaire

MODELISATION D'UN CONCENTRATEUR CYLINDRO-PARABOLIQUE :

CALCULE DE LA PUISSANCE UTILE :

Le flux transmet au fluide (la puissance gagnée au collecteur): [2]

$$Q_u = Q_{abs} - Q_p$$

$$Q_u = \eta_{op} I_b A_a - U_L (T_A - T_{amb})$$

$$Q_u = F_r [\eta_{op} I_b A_a - U_L A_r (T_{fe} - T_{amb})] \quad (1)$$

$$\text{Ou : } C = \frac{(W - D_{A,e})L}{\pi D_{A,e}L} \quad \text{et} \quad A_r = A_a / C$$

$$F_r = \frac{\dot{m} C_p}{A_a U_L} \left[1 - e^{-\left(\frac{A_a U_L F'}{\dot{m} C_p} \right)} \right] \quad (2)$$

$$\text{Avec : } F' = \frac{1/U_L}{\frac{1}{U_L} + \frac{D_e}{h_{fi} D_i} + \frac{D_e}{2K} \ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}$$

CALCULE DE LA TEMPERATURE DE SORTIE DE FLUIDE CALOPORTEUR T_{fs} :

Pour calculer la température de sortie, l'équation suivante a été utilisée, [3].

$$T_{fs} = T_{fe} + \frac{Q_u}{\dot{m} C_p} \quad (3)$$

On peut calculer la température en tous points x de tube absorbeur par l'équation:[2]

$$T_{fs}(x) = \left(\frac{C I_b}{U_L} + T_{amb} - T_{fe} \right) * \left[1 - \exp\left(-\frac{F' \pi D_{A,e} U_L x}{\dot{m} C_p} \right) \right] + T_{fe} \quad (4)$$

Le coefficient des pertes thermique est donné par l'expression suivante :

$$U_L = \left(\frac{1}{C_1 \left[\frac{T_A - T_{amb}}{1+f} \right]^{0.25}} + \frac{D_{A,i}}{D_{A,e}} \frac{1}{h_V} \right)^{-1} + \left(\frac{\sigma (T_A^2 + T_{amb}^2) (T_A + T_{amb})}{\varepsilon_A - 0.04(1 - \varepsilon_A) \left(\frac{T_A}{450} \right) - \left[\frac{D_{A,i}}{D_{A,e}} (1/\varepsilon_V) + f \varepsilon_V \right]} \right)^{-1} \quad (5)$$

Le facteur f tient compte les pertes du au vent, et qui peut être obtenu par l'équation suivante :

$$f = \frac{D_{A,i}}{D_{A,i}^{1.4}} (0.61 + 1.3 \varepsilon_A) h_V^{-0.9} \exp[0.00325 (T_A - 273)] \quad (6)$$

Où : C_1 est donné par l'expression empirique suivante :

$$C_1 = \frac{1.45 + 0.96(\varepsilon_A - 0.5)^2}{D_{A,i} (1/D_{A,i}^{0.6} + D_{A,e}^{0.6})^{1.25}}$$

Où : h_V est le coefficient par convection du au vent est donné par : $h_V = 4 V_{vent}^{0.58} D_{V,e}^{-0.42}$

On prendre comme fluide caloporteur le Biphenly-Diphenyl Oxide (Therminol VP-1) pour $T(293,393)^\circ\text{C}$.

Les propriétés thermo-physiques sont données par les corrélations suivant : [4]

La chaleur spécifique :

$$C_p(T_{fm}) = 1000 * (1.509 + 0.002496 * T_{fm} + 0.0000007888 * T_{fm}^2)$$

La conductivité thermique :

$$K(T_{fm}) = 0.1381 - 0.00008708 * T_{fm} - 0.0000001729 * T_{fm}^2$$



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 13et 14 Octobre 2014



La viscosité dynamique:

$$V$$

$$(T_{fm}) = 0.001 * (10^{0.8703} * T_{fm}^{(0.2877 + \text{Log}(T_{fm}^{-0.3638}))})$$

La Température T_{fm} est la température moyenne de fluide VP1 tel que : [2]

$$T_{fm} = \frac{T_{fe} + T_{fs}}{2}$$

Résultat et discussion :

La modélisation de transfert de chaleur de capteur cylindro-parabolique est faite par une **procédure de calcul et programmation** écrite en langage **FORTRAN**. Pour le concentrateur cylindro-parabolique utilisé dans cette étude est de type LS-2 qui fait partie du champ solaire de la centrale thermique SEGS en Californie dans les caractéristiques sont données par [6]. Les données utilisées pour le concentrateur sont présentés dans **le tableau1**

Tableau 1 caractéristique de concentrateur cylindro-parabolique LS-2

Le tube absorbeur	
Emissivité du tube absorbeur	0,01
Emissivité de l'enveloppe transparente en verre	0,89
Les paramètres géométriques du capteur	
Longueur (m)	588
Largeur (m)	5,75
Diamètre intérieur du tube absorbeur (m)	0,033
Diamètre extérieur du tube absorbeur (m)	0,035
Diamètre intérieur du verre (m)	0,057
Diamètre extérieur du verre (m)	0,06
Les paramètres optiques du capteur (miroirs)	
Facteur d'interception	0,845
Facteur de réflectance du miroir	0,960
Coefficient de transmission du verre	0,963
Coefficient d'absorption de l'absorbeur	0,960

A fin de valider la modélisation du capteur cylindro-parabolique, on a comparé nos résultats avec les données publiées par le laboratoire NREL [6] sous les mêmes conditions exigées. L'étude a été réalisée sur une série de 144 capteurs solaires cylindro-paraboliques placés en série. Les données de comparaison sont regroupées dans **le tableau 2** :

Tableau 2 : données de comparaison

La longueur totale des capteurs	588 (m).
Le débit massique de VP1	9.00 (Kg/s).
Le constant solaire	950 (W/m ²).
La largeur de capteur	5.75 (m).
La température d'entrée de VP1	293 (°C).
La vitesse de vents	2 (m/s).
La température ambiante	30 (°C).
L'éclairement incident direct	889 (W/m ²).
La puissance totale absorbée par le capteur par mètre	3834 (W/m).

Les calculs fait ont permet de tracer les courbe suivante :

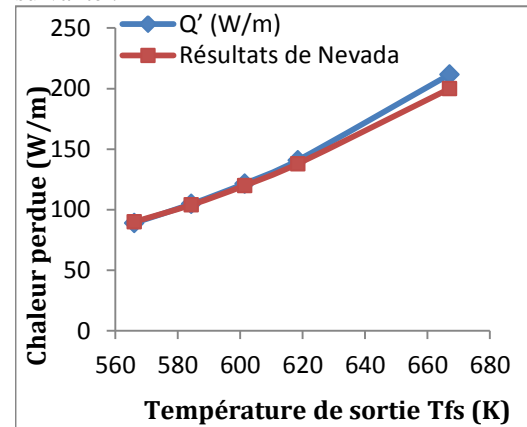


Figure 4 : variation de la chaleur perdue en fonction de la température de sortie

D'après les résultats tracés on remarque que la chaleur perdu augmente avec l'augmentation de la température de sortie de fluide de refroidissement de capteur et en comparant les résultats enregistrés avec ceux enregistrés par le Nevada on remarque que les deux courbes ont la même allure ce qui fait que les résultats enregistrés sont acceptables

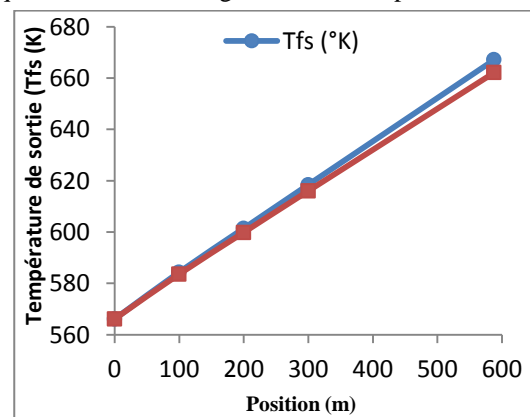


Figure 5 : la variation de la température de sortie en fonction de la position



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,

Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



D'après les courbes tracées on remarque que la température de sortie du concentrateur augmente en augmentant la position et en comparant les résultats enregistrés avec ceux validés par le Nevada on remarque que les deux courbes ont la même allure ce qui fait que les résultats sont valables

D'après la **figure (4) et (5)** on remarque que notre modélisation est presque confondue avec les résultats de Nevada, donc on peut dire que le programme solaire est valable et tous les résultats de nos problèmes vont être acceptables avec ce programme.

Conclusion :

La technologie des capteurs cylindro-paraboliques et actuellement la plus éprouvée parmi les techniques de concentration solaire. L'énergie thermique reçue est collectée et absorbée pour ensuite être utilisée pour chauffer le fluide caloporteur à température élevée. Le champ solaire est une source importante il assure la production de l'électricité et de l'énergie thermique. L'utilisation des concentrateurs est particulièrement intéressante, puisque ces capteurs qui sont très développés dans les dernières années, notamment pour la production de l'énergie thermique nécessaire à l'alimentation industrielle. Pour assurer un bon fonctionnement de ces concentrateurs il est préférable de travailler à des températures élevées qui sont favorables au système de production d'énergie. Car pour des longueurs infinies le concentrateur peut absorber une grande quantité d'énergie et la température peut atteindre des valeurs très importantes, dans notre étude le fluide caloporteur (VPI) peut atteindre 400 degrés. Et ces résultats enregistrés sont comparés à ceux enregistrés par le Nevada et on conclut qu'ils sont acceptables donc le programme conçu peut être l'outil d'analyse d'une modélisation d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique validé par la comparaison de nos résultats avec ceux enregistrés par le Nevada.

Référence :

[1] D.GUERRAICHE, 'Simulation et Prédiction de la Radiation Solaire Directe Absorbé par un Champ de Capteurs Cylindro-Parabolique', Mémoire de Magister, Batna, Algérie, 2002.

[2] COLLARES-PEREIRA, M, A, RABI, The Average Distribution of solar Radiation correlation between diffuse and hémisphérique and daily and hourly insolation values. Solar Energy. Vol 22: pp .155-164, 1979.

[3] A. Gama, 'Etude et Réalisation d'un Banc d'Essai Hybride Photovoltaïque Thermodynamique', Mémoire de Magister, ENP, Mai 2008.

[4] S.A.Kalogirou; Solar Energy Engennering .Process and systems, 1st edition.p .cm 2009.

[5] J.A.Duffie and W.A. Beeckman; Solar Engineering of Thermal Processes ». Third ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

[6] F. Bukholderan C. Kutscher; Heat loss Testing of Schott's 2008 PTR70 Parabolic Trough Receiver Implimented in Engineering Equation Solver. Natinal Renewable Energy Laboratory Technical Report, NREL/TP-550-341