

Simulation de la température de sortie de l'eau dans un concentrateur solaire cylindro-parabolique à Batna-Algérie

T.Reddah^{1,2}, H.Benmoussa², M.Aissani¹

¹Research Center in Industriel Technologies CRTI, p.o.box 64, Chéraga 16014 Algiers, Algeria, redahtaki@yahoo.fr, t.reddah@crti.dz, m.aissani@crti.dz

²LESEI, Université de Batna, avenue Chahid Boukhrouf, 05000 Batna, Algérie, hocine_b@hotmail.com

Résumé— Dans cette étude, on s'intéresse à la simulation de la température de sortie de l'eau dans un concentrateur solaire de type cylindro-parabolique. Pour étudier le phénomène de chauffage de l'eau à partir de l'énergie solaire, deux parties essentielles sont traitées: la première partie est consacrée au calcul du flux solaire incident dans un plan incliné qui correspond à la latitude de la ville de Batna, Algérie ($\Phi=35,55^\circ$) avec un programme en langage FORTRAN. La deuxième partie est réservée à l'étude des échanges thermiques dans le tube absorbeur du concentrateur pour déterminer la température de sortie du fluide caloporteur. La simulation est effectuée heure par heure du lever du soleil jusqu'au coucher. Les résultats obtenus montrent que les températures de sorties varient en fonction du temps et l'éclairement solaire incident. Dont ce dernier dépend de latitude de la région étudiée et l'état climatique cette région.

Mots-clé— Concentrateur cylindro-parabolique, Température de sortie, Rayonnement solaire, Absorbeur.

I. INTRODUCTION

Actuellement, la conservation des ressources énergétiques est devenue une priorité à l'échelle planétaire, ce qui a poussé les spécialistes à trouver de nouvelles techniques, tel que les énergies renouvelable (solaire, éolien, hydraulique,...etc.). Dans le domaine des énergies solaires, on trouve les concentrateurs cylindro-paraboliques, les capteurs plans, les concentrateurs paraboliques, les séchages solaires,...etc. [1].

Les concentrateurs cylindro-paraboliques prennent un intérêt croissant par la communauté scientifique grâce à leur développement permanent avec des coûts plus faibles. Ils sont utilisés pour la production de l'électricité en exploitant l'énergie solaire. Un absorbeur conventionnel est principalement constitué d'un tube métallique droit contenu dans une enveloppe cylindrique en verre. L'ensemble de ce concentrateur est positionné sur la ligne focale de son miroir réfléchissant. Sous l'effet de la concentration solaire le fluide caloporteur en circulation dans le tube absorbeur est chauffé à des températures très élevés, véhiculant ainsi l'énergie thermique emmagasinée vers un système de stockage où il va permettre de produire de la vapeur d'eau qui sera utilisé par les turbines. L'énergie mécanique des turbines sera transformée par la suite en énergie électrique. Les concentrateurs cylindro-paraboliques sont les systèmes les plus prometteuses pour prendre la place des énergies non

renouvelables (les énergies fossiles et les énergies nucléaires) surtout dans le domaine industriel (centrales électriques, systèmes hybrides, le dessalement, l'air conditionné, la réfrigération, irrigation, ...etc.) [2, 3].

En 2010 Z.D.Cheng et al [4], ont travaillé sur l'identification de distribution de la température à la surface externe du tube absorbeur d'un Concentrateur cylindro-parabolique (CCP), en 2011 Ya-Ling He et al [5], ont réalisé une multitude de simulation sur différentes configurations du concentrateur en diminuant le diamètre du tube absorbeur et en variant l'angle de la jante, en 2013 P. Wang et al [6], ont concentré leur étude sur le tube absorbeur d'un CCP. Nous on va étudier l'évolution de la température de sortie du fluide caloporteur dans un tube absorbeur d'un CCP.

Dans cette étude, on s'intéresse à la région de Batna dont on veut bien exploiter leur avantage climatique en utilisant ces concentrateurs solaires. L'étude du chauffage de l'eau par le concentrateur considéré repose tout d'abord sur l'estimation exacte du rayonnement solaire incident à Batna. L'étude thermique postérieure du concentrateur nous permet de suivre l'évolution de la température de l'eau qui circule à l'intérieur du tube absorbeur en mode de convection forcée et la température de sortie. Ainsi, on pourra par la suite optimiser les paramètres du concentrateur et améliorer son rendement thermique et ses dimensions.

II. Etude du rayonnement solaire

A. Rappel des composantes du rayonnement solaire

Selon la littérature [7], le rayonnement solaire global (G) parvenant au sol peut être subdivisé en deux composantes principales, qui sont l'éclairement direct (S) et l'éclairement diffus (D).

a) Eclairement direct (S)

C'est l'éclairement parvenant au sol sous un angle solide limité au seul disque solaire et reçu sur une surface normale à l'axe de cet angle solide. L'expression de l'éclairement direct $S(i, \sigma)$ sur un plan d'inclinaison i et angle d'orientation σ quelconque est donné par [7]:

$$S(i, \sigma) = I_0 [\cos(h) \sin(i) \cos(\sigma - a) + \sin(h) \cos(i)] \quad (1)$$

Avec :

a : Azimuth du soleil [degré].

h : Hauteur du soleil [degré].

I_0 : Est l'intensité du rayonnement solaire direct provenant vers un point M de la surface de captation, il varie avec la hauteur du soleil h. Cette variation peut être exprimée par la formule suivante [7] :

$$I_0 = A \exp \left[-\frac{1}{B \sin(h+C)} \right] \quad (2)$$

Les variables A, B et C dépendent de l'état des troubles atmosphériques, leurs valeurs sont données par le tableau 1[7].

Tableau. I: Valeur des variables A, B et C

Hypothèses	Variables		
	A	B	C
Conditions normales	1230	3.8	1.6
Ciel très pur	1220	6	1
Zone industrielle	1260	2.3	3

b) Eclairage diffus (D)

C'est l'éclairage diffusé par les composantes de l'atmosphère, provenant de la totalité du ciel à l'exception du disque solaire. La composante verticale D^* du rayonnement direct diffusé parvenant au sol vaut alors [7]:

$$D^* = 0.5(I_e - I_0) \sin(h) \quad (3)$$

Avec : I_e c'est la quantité qui se déduit de la constante solaire [W/m²]. Finalement, on a la forme de l'éclairage diffus (D) [7] :

$$D(i) = \left(\frac{1 + \cos(i)}{2} \right) D^* + \left(\frac{1 - \cos(i)}{2} \right) p G^* \quad (4)$$

Avec :

G^* : L'éclairage global reçu par la même surface [W/m²].

P : l'albédo du sol [%].

i : l'angle de l'inclinaison du concentrateur [degré].

G^* est donné par les relations suivantes [7]:

1) Conditions normales:

$$G_{\max}^* = 1130 (\sin(h))^{1.25} \quad (5)$$

2) Zone industrielle:

$$G_{\min}^* = 995 (\sin(h))^{1.25} \quad (6)$$

3) Par ciel très pur:

$$G_{\text{moy}}^* = 1080 (\sin(h))^{1.25} \quad (7)$$

Le rayonnement global (G) est égal à la somme du rayonnement direct (S) et le rayonnement diffus (D).

B. Principe de captation du rayonnement solaire

Les capteurs plans sont considérés comme un simple absorbeur des rayons solaires qui les transforment en chaleur, en absorbant les rayons solaires provenant de toutes les directions (rayonnement direct et diffus), par contre les capteurs à concentrations (comme notre cas) absorbent que le rayonnement solaire direct (S) [8]. La figure (1) présente les différents modes de captation du rayonnement.

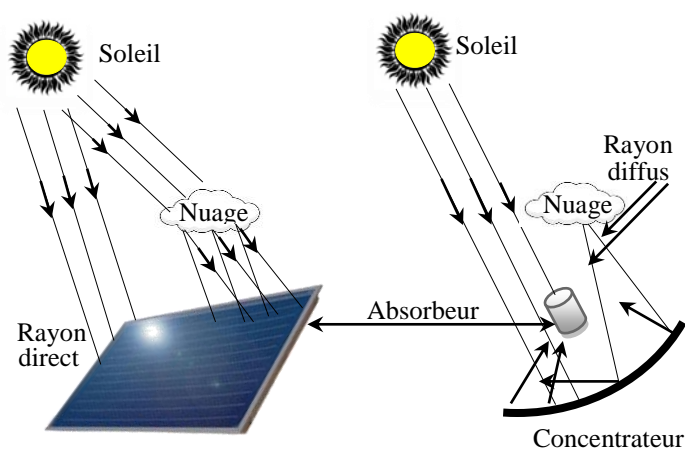


Fig.1 : Schématisation du principe de captation du rayonnement solaire.

C. Rappel des données astronomiques

a) La déclinaison (δ) :

C'est l'angle que forme la direction du soleil et le plan équatorial. La déclinaison varie de façon sinusoïdale au cours de l'année comme, elle vaut 0 aux équinoxes et atteint ses deux valeurs extrêmes au solstice d'été (+23,27°) et au solstice d'hiver (-23,27°). Elle est donnée par l'expression suivante [9]

$$\delta = 23,45 \sin \left[360 \left(\frac{d-80}{365} \right) \right] \quad (8)$$

b) L'angle horaire (ω):

L'angle horaire est donné par la relation suivante [9] :

$$\omega = 15^\circ (TSV - 12) \quad (9)$$

Avec TSV est temps solaire vrai [heure] calculé par cette expression :

$$TSV = TSM + \left(\frac{E_t}{60} \right) \quad (10)$$

E_t : variable de temps [minute]

c) Azimuth (α):

L'azimut (parfois orthographié azimut) est l'angle dans le plan horizontal entre la direction d'un objet et une direction de référence.

$$\sin(a) = \frac{\sin(\omega)\cos(\delta)}{\cos(h)} \quad (11)$$

d) Hauteur du soleil (h):

Est donné par l'expression mathématique suivante [9] :

$$\sin(h) = \sin(\delta)\sin(\phi) + \cos(\omega)\cos(\delta)\cos(\phi) \quad (12)$$

III. CALCUL THERMIQUE DU CONCENTRATEUR

Un programme informatique a été développé pour simuler le rayonnement solaire global (G) à Batna. Le programme est écrit en langage FORTRAN. Il est formé de deux parties essentielles : La première partie fait le calcul des facteurs géométriques tel que: La déclinaison (δ), la durée du jour (d_j), l'heure du lever et du coucher du soleil (GMTL et GMTC), le numéro du jour (n), et le temps solaire vrai (TSV). La deuxième partie fait le calcul des paramètres suivants l'angle horaire(ω), la hauteur angulaire du soleil (h), l'éclairement direct et diffus et finalement l'éclairement global(G). L'organigramme de ce programme est présenté dans la figure (2).

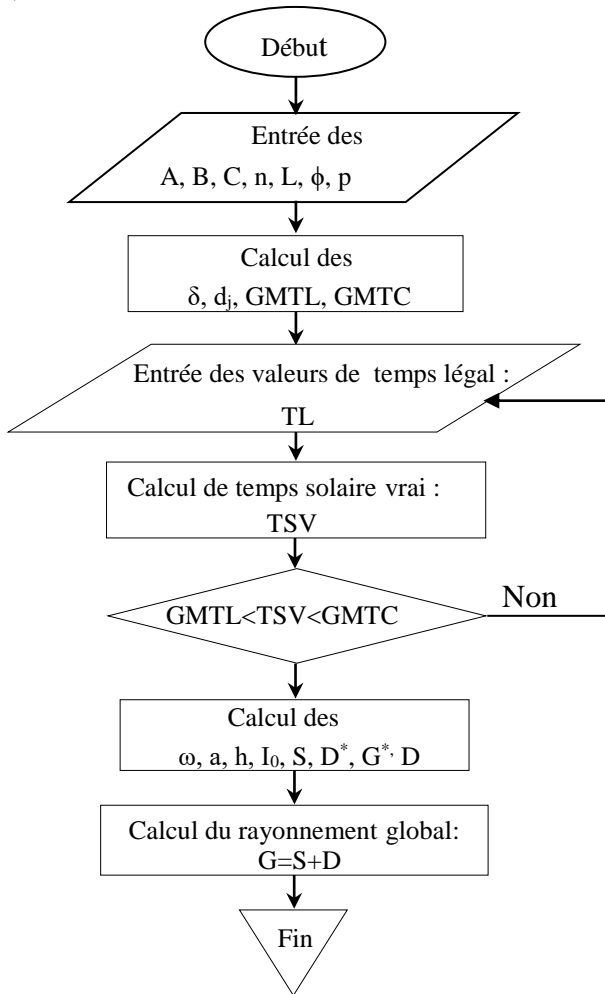


Fig.2 : Organigramme du programme de calcul du rayonnement solaire global.

Le composant le plus important dans le concentrateur est le tube absorbeur, dans lequel circule le fluide caloporteur, et il est entouré d'une enveloppe transparente en verre pour éliminer les pertes par convection vers l'environnement. L'énergie solaire incidente absorbée, n'est pas entièrement transmise au fluide caloporteur, une partie est dissipée sous forme de pertes thermiques entre l'absorbeur et l'enveloppe du verre.

Afin de calculer le bilan énergétique du concentrateur, on prend en considération les hypothèses suivantes:

- Le fluide caloporteur est incompressible (l'eau).
- La forme de la parabole est symétrique.
- La température ambiante autour du concentrateur est uniforme.
- L'effet de l'ombre du tube absorbeur sur le réflecteur est négligeable.
- Le flux solaire au niveau de l'absorbeur est uniformément réparti.

La température de sortie de l'eau (T_s) est calculée à travers l'équation [10].

$$T_s = T_e + \frac{q_{utile}}{mcp} \quad (13)$$

Avec :

T_e : Température d'entrée égale à 293[k].

m : Débit massique d'eau [kg/s].

cp : Chaleur spécifique d'eau égale à 4186 [joule/Kg.K].

On peut calculer la puissance utile par cette équation [11] :

$$q_{utile} = \eta_{th} \times S \times A_a \quad (14)$$

Avec :

S : Rayonnement direct [W/m^2].

A_a : Surface du concentrateur [m^2].

η_{th} : Rendement thermique du concentrateur égale à 0,6

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les figures 3 et 4 représentent l'éclairement solaire global (G), direct (S) et diffus (D) sur un plan incliné de $35^\circ,55$ et orienté vers le sud dans la région de Batna - Algérie pour les journées de : 21 Mars, 21 Juin, 21 Septembre et 21 décembre respectivement de la même année.

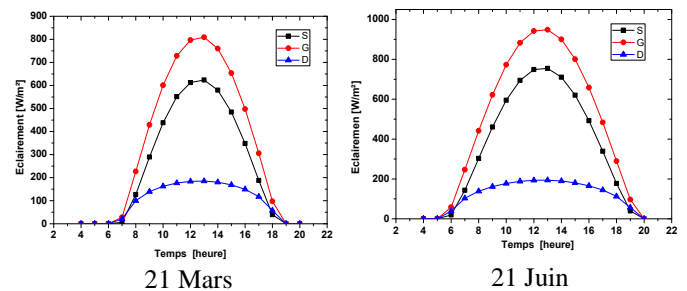


Fig.3 : Evolution du rayonnement solaire pour le 21 Mars et 21 juin.

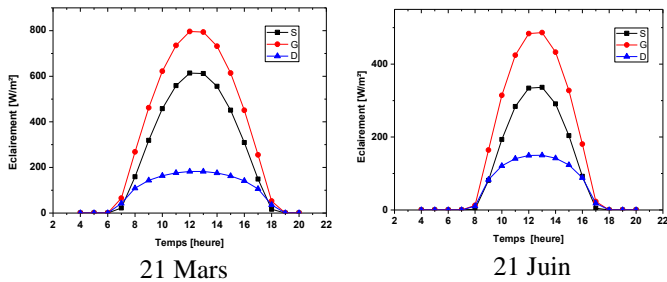


Fig.4 : Evolution du rayonnement solaire pour le 21 Mars, 21 Juin, 21 Septembre et 21 Décembre.

Le rayonnement global moyen mensuel à Batna est représenté sur la figure 5, on remarque que la valeur maximale vaut 400[KWh/m²] au mois d'août et la valeur minimale se situe en mois de novembre avec 210[KWh/m²].

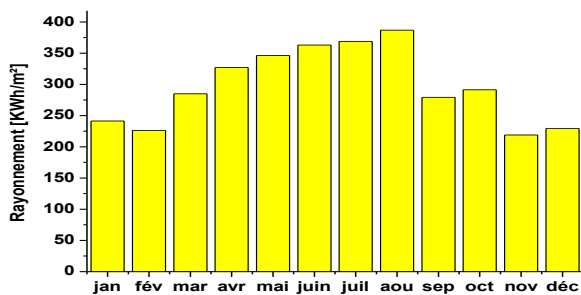


Fig.5 : Le rayonnement solaire global mensuel à Batna.

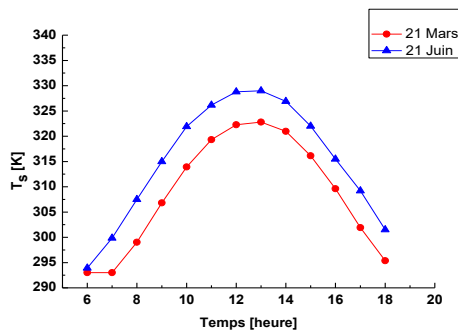


Fig.6: Evolution de la température de sortie de l'eau pour le 21 Juin et le 21 Mars à Batna

Sachant que le débit massique moyen de l'eau à l'intérieur du tube absorbeur est 0.015kg/s, la figures 6 représente l'évolution de la température de sortie pour les journées du 21 Mars et 21 juin. On constate que la valeur maximale est presque 330 [K] à midi en temps solaire vrai en été.

Les résultats montrent que la température de sortie de l'eau dépend du flux solaire incident et les paramètres de l'absorbeur qui peuvent être optimisés.

V. CONCLUSION

Ce travail propose une étude thermique d'un concentrateur Cylindro-parabolique qui utilise l'eau comme fluide caloporteur et circule dans un absorbeur. Ce dernier est l'élément le plus essentiel du capteur solaire, il absorbe les rayons solaires et transmette la chaleur vers ce fluide caloporteur. L'étude entamée a été basée au premier lieu sur le calcul du rayonnement solaire global, diffus et direct à la ville de Batna. La puissance thermique utilisée par le concentrateur est calculé par la suite à partir de l'éclairement direct de cette région.

La température de sortie du tube absorbeur est presque 60 C° pour la journée du 21 juin dans la région de Batna avec une température d'entrée de 20 C° avec un débit d'eau utilisé de 0.015kg/s. Les résultats obtenus sont très encourageant pour plusieurs applications industrielles.

REFERENCES

- [1] M.Ghodbane et al."Simulation Numérique d'un Concentrateur Cylindro-Parabolique en El Oued, Algérie", International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET), vol. 3, pp.68-74, 2015.
- [2] A.Hepbasli,Z.Alsuhaibani,"A key review on present status and future directions of solar energy studies and applications in Saudi Arabia", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, pp. 5021–5050, 2011.
- [3] A. Fernandez-Garcia, E. Zarza, L. Valenzuela and M.Pérez, "Parabolic-trough solar collectors and their applications", Renewable & Sustainable Energy Reviews, vol. 14, pp. 1695–1721, 2010.
- [4] Z.D.Cheng et al. "Three dimensional numerical study of heat transfer characteristics in the receiver tube of parabolic trough solar collector", International Communications in Heat and Mass Transfert vol.37, pp 782-787, 2010.
- [5] Ya-ling.He et al, "A MCRT and FVM coupled simulation method for energy conversion process in parabolic trough solar collector", Renewable Energy, vol 36, pp.796-985, 2011.
- [6] P.Wang et al, "Numerical study of heat transfer enhancement in the receiver tube of direct steam generation with parabolic trough by inserting metal foams", Applied Energy, vol 102,pp.449-460, 2013.
- [7] R.Bernard, G.Menguy, M.Schwartz, "Le rayonnement solaire conversion thermique et applications", Technique et documentation, Paris, 1980.
- [8] D. Guerraiche, "Simulation et Prédiction de la Radiation Solaire Directe Absorbée par un Champ deCapteurs Cylindro-Parabolique", Mémoire de Magister, Université de Batna, Algérie, 2002.
- [9] J.A.Duffie, and .W.A.Beckman, "Solar energy thermal process", 2nd edition 1996.
- [10] M. Li and L.L. Wang, "investigation of Evacuated Tube Heated by Solar Trough Concentrating System", Energy Conversion and Management, vol. 47, pp. 3591 –3601, 2006.
- [11] S. Kalogirou, "Solar Energy Engineering- Processes and Systems", chap: Thermal analysis of parabolic trough collectors, 1stedition, pp. 199-202, 2009.