



Le 5^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables
The 5th International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 24 - 25 Octobre 2018



Thermal Numerical Examination of a Linear Solar Collector: the Parabolic Trough Concentrator (PTC) as a Case Study

Mokhtar GHODBANE^{1*}, Boussad BOUMEDDANE¹

¹ Département de Mécanique, Faculté de technologie, Université Saad DAHLAB Blida 1, Algérie

*auteur correspondant E-mail: ghmokhtar39seminaire@gmail.com

Abstract— through this article, we will present a numerical study of a linear solar concentrator in the Algerian desert, exactly in the region of El-Oued. The numerical solution depends on the finite difference method. The water was used as a heat transfer fluid. The main objective of this study is to examine the thermal properties of this type of solar system. The optical and thermal efficiency of the solar collector has exceeded 75; this value is very significant despite the changing weather conditions for the day of March 16, 2018, which represents a day chosen to conduct this study.

Keywords: *parabolic trough solar collector; thermal solar; solar radiation Direct; water; simulation.*

Résumé— À travers cet article, nous présenterons une étude numérique d'un concentrateur solaire linéaire dans le désert algérien, exactement dans la région d'El-Oued. La solution numérique dépend de la méthode des différences finies. L'eau a été utilisée comme un fluide caloporteur. L'objectif principal de cette étude est d'examiner les propriétés thermiques de ce type de système solaire. L'efficacité optique et thermique du capteur solaire a dépassé 75, cette valeur est très significative malgré les conditions climatiques changeantes pour la journée de 16 mars 2018, ce qui représente un jour choisi pour mener cette étude.

Mots clés— *concentrateur solaire cylindro-parabolique; solaire thermique; rayonnement solaire direct; eau; simulation.*

I. INTRODUCTION

Avec la forte demande des besoins énergétiques dans le monde et la croissance des préoccupations environnementales, la recherche des nouvelles sources d'énergie efficaces et inépuisables est une obligation et n'est pas un choix [1-14]. Parmi les sources ont été découvert ces dernières décennies, les systèmes solaires thermodynamiques à concentration qui sont considérés la plus importante dans le monde entier. Ces systèmes génèrent de l'énergie solaire en utilisant des miroirs ou des lentilles pour concentrer une grande quantité des rayonnements solaires ou énergie thermique solaire sur une petite surface afin d'exploiter l'intensité de flux thermique plus tard dans plusieurs applications industriels tels que la production d'électricité. Par exemple pour la production d'électricité, elle est générée lorsque le rayonnement solaire concentré est converti en chaleur, ce qui entraîne une turbine à vapeur relié à un générateur d'énergie électrique ou à une réaction thermochimique.

Les centrales solaires mondiales à concentration disposaient d'une puissance totale installée de 4815 MW en 2016, contre 354 MW en 2005. En 2017, l'Espagne représentait près de la moitié de la capacité mondiale, avec une puissance de 2300 MW, faisant de ce pays le leader mondial dans les domaines d'exploitation des centrales solaires thermodynamiques à concentration. Les États-Unis suivent avec une puissance de 1740 MW. L'intérêt est également notable en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, ainsi qu'en Inde et en Chine. Le marché mondial a été dominé par les usines paraboliques, qui représentaient 90% des usines des concentrations solaires thermodynamique à un moment donné. Les plus grands projets des

concentrateurs solaires thermodynamiques au monde sont l'installation d'énergie solaire de « IVANPAH » avec une puissance de 392 MW aux États-Unis qui utilise la technologie des tours d'énergie solaire, le projet « MOJAVE SOLAR » avec une puissance de 354 MW aux États-Unis utilisant des concentrateurs cylindro-paraboliques.

Les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques (PTC) proposent la possibilité de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, les températures du fluide caloporteur peuvent aisément dépasser les 500 °C et le rendement de conversion est généralement élevé, il est varié entre 62 et 82 % [1-14]. Le concentrateur solaire cylindro-parabolique dépend de l'utilisation du rayonnement solaire direct (DNI) [1-14].

Cette étude est consacrée à l'investigation du concentrateur solaire cylindro-parabolique parabolique pour estimer ses caractéristiques thermiques en fonction des paramètres géométriques, optiques et conditions climatiques dans la région d'El-Oued, Algérie pour la journée de 16 Mars 2018.

II. ETUDE THERMIQUE

L'étude optique des collecteurs solaires est l'un des facteurs physiques les plus importants pour déterminer les performances de ces collecteurs (Plans ou concentrateurs). Le concentrateur cylindro-parabolique est le collecteur le plus important dans le domaine de la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique ou électrique [1-9, 11-13, 15-21].

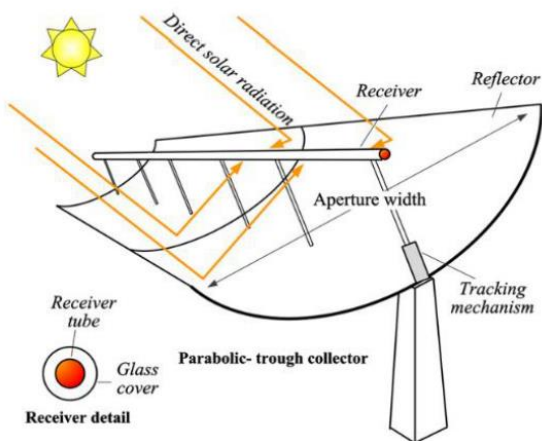


Fig.1. Schéma d'un collecteur solaire cylindro- parabolique (PTC) [2, 22].

Parmi les pays qui exploitent cette technologie, L'Algérie a achevé une centrale électrique hybride gaz/solaire assurée avec des spécifications allemandes dans le site de Hassi R'mel, Laghouat. Cette centrale combine des miroirs cylindro-paraboliques concentrant la puissance solaire de 25

MW, sur une surface de 180000 m², en conjonction avec une centrale à turbines à gaz de 130 MW [2, 23].



Fig.2. La centrale hybride de Hassi R'mel [2, 24].

À travers ce chapitre, nous présenterons toutes les équations mathématiques permettant la modélisation thermique du concentrateur solaire cylindro-parabolique (PTC). Donc l'objectif principal est de faire des calculs et des investigations thermiques sur le concentrateur solaire cylindro-parabolique en fonction des paramètres géométriques des éléments concentrateurs pour déterminer l'intensité et la distribution du flux solaire sur la surface du tube récepteur, les performances thermiques du PTC, la température du tube absorbant « T_A , (K) », la température du fluide caloporteur « T_F , (K) », la température de la vitre « T_V , (K) » et le coefficient global des pertes thermiques « U_L , (W/m².K) ».

Le bilan énergétique du tube absorbant donnera les équations essentielles pour caractériser la performance thermique « η_{th} » et de déterminer le coefficient global des pertes thermiques « U_L , (W/m².K) » et la température « T_S , (K) » de fluide caloporteur à la sortie du tube absorbant.

Généralement, les échanges thermiques se produisent entre trois éléments (le tube absorbant, le fluide caloporteur et la vitre). Pour le calcul de bilan énergétique on pose comme hypothèses [2-9, 11-13]:

- Le fluide caloporteur est incompressible ;
- La forme de parabole est symétrique;
- La température ambiante autour du concentrateur est uniforme;
- L'effet de l'ombre du tube absorbant sur le miroir est négligeable ;
- Le flux solaire au niveau de l'absorbant est uniformément réparti ;
- La vitre est considérée comme opaque aux radiations infrarouges ;
- Les échanges par conduction dans l'absorbant et la vitre sont négligeables.

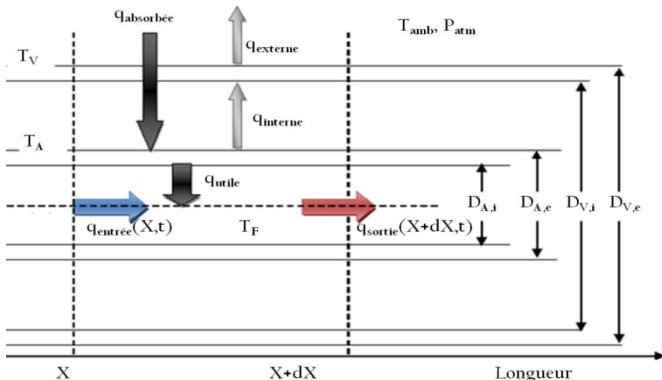


Fig.3. Le bilan thermique d'un élément de surface du concentrateur solaire PTC [2-6, 8, 9, 11].

Généralement pour l'analyse thermique d'un collecteur solaire à concentration, il est nécessaire de dériver des expressions appropriées pour le facteur « F' » d'efficacité du collecteur, le coefficient de pertes thermiques « U_L » et le facteur « F_R » d'évacuation de la chaleur du collecteur.

Pour le coefficient des pertes thermiques, des relations de transfert de chaleur standard pour les tubes vitrés peuvent être utilisées. Les pertes thermiques du tube absorbeur doivent être estimées, généralement en termes de coefficient de pertes thermiques « U_L », qui est basé sur la superficie du récepteur. La méthode de calcul des pertes thermiques d'un tube absorbeur du collecteur à concentration ne peut pas être facilement résumée, car de nombreux modèles et configurations sont disponibles (simple tube absorbeur, tube absorbeur sous-vide, tube absorbeur vitré, ...etc.) [1, 2, 14].

Donc pour un PTC, les niveaux de transfert d'énergie sont les suivants:

- Transfert d'énergie entre l'absorbeur et le couvercle en verre ;
- Transfert d'énergie à travers la couverture de verre ;
- Transfert d'énergie de la couverture de verre à l'air ambiant;
- Le transfert d'énergie de l'absorbeur à l'air ambiant à travers les supports et les entretoises du récepteur.

L'efficacité thermique « η_{th} » représente le rapport entre la chaleur utile « q_{utile}, (W) » transmise au fluide caloporteur (liquide ou gaz) et la puissance « Q_S, (W) » de rayonnement solaire direct « DNI, (W/m²) » qui atteint la surface utile de collecteur (PTC). L'énergie calorifique de la chaleur utile peut être utilisée ultérieurement pour le chauffage (air, eau) ou aussi dans plusieurs procédés industriels (production d'électricité, climatisation solaire, agriculture, ...etc.). Donc, l'efficacité thermique peut être calculée par relation [2-6, 8, 9, 11-13, 17]:

$$\eta_{th} = \frac{q_{utile}}{Q_S} = \frac{q_{utile}}{DNI \times A_a} \quad (1)$$

Où, le gain de chaleur utile « q_{utile}, (W) » fourni au fluide caloporteur spécifié peut être calculé par [2, 12, 13]:

$$q_{utile} = \dot{m} \times C_p (T_S - T_i) \quad (2)$$

Avec « \dot{m} , (Kg/s) » est le débit massique, « T_S, (K) » est la température du fluide caloporteur à l'entrée du tube absorbeur, « T_i, (K) » est la température de fluide caloporteur à l'entrée du tube absorbeur et « C_p, (J/Kg.K) » est la capacité thermique de fluide.

Il peut également être calculée « q_{utile}, (W) » par la suivante équation [9, 11, 14]:

$$q_{utile} = F_r \left[\eta_{op} DNI A_a - U_L A_{r,ext} (T_i - T_{amb}) \right] \quad (3)$$

Avec « DNI, (W/m²) » est le rayonnement solaire direct, « A_a, (m²) » est la surface d'ouverture du collecteur, « A_{r,ext}, (m²) » est la surface extérieure du tube absorbeur et « T_{amb}, (K) » est la température de l'ambiance.

Quant à « F_R » est le facteur de dissipation de la chaleur, il peut être calculé le facteur « F_R » par la suivante équation [9, 11, 14]:

$$F_R = \frac{\dot{m} \times C_p}{A_{r,ext} \times U_L} \left[1 - e^{-\left(\frac{A_{r,ext} \times U_L \times F'}{\dot{m} \times C_p} \right)} \right] \quad (4)$$

Avec « η_{opt} » est l'efficacité optique du concentrateur (PTC), où ce rapport représente la quantité de rayonnement « q_{absorbée}, (W) » absorbée par le tube absorbeur divisée par la quantité de rayonnement normal direct "DNI" incident sur la zone d'ouverture "A_a, (m²)". L'efficacité optique "η_{opt}" est donnée par [1-9, 11-14, 25-30]:

$$\eta_{opt} = \rho_m \cdot \tau \cdot \alpha_c \cdot K(\theta) \quad (5)$$

Où les propriétés optiques du miroir réfléchissant du concentrateur cylindro-parabolique sont caractérisées par [1-9, 11-14, 25-30]:

- Le coefficient de réflexion "ρ_m";
- Le coefficient de transmission "τ";



Le 5^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables
The 5th International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 24 - 25 Octobre 2018



- Le facteur d'interception " γ ";
- Le coefficient d'absorption du récepteur " α_C ".

En pratique l'optique n'est pas parfaite. Pour que le modèle représente mieux la réalité, les erreurs optiques sont prises en compte. L'angle d'incidence " θ , ($^\circ$)" du soleil par rapport à un capteur solaire incliné joue un rôle important dans la détermination de la quantité d'énergie transmise au capteur solaire [1, 7, 31, 32]. Cet angle " θ " varie le long de la journée, de sorte que la performance quotidienne varie simultanément. L'angle d'incidence en termes d'angles différents définissant la position du soleil, d'où la dépendance directe de l'énergie absorbée, qui est selon le facteur d'angle d'incidence modifié " $K(\theta)$ " [1, 7, 14, 31, 32]. Ils sont de plusieurs natures d'erreurs optiques. La relation du coefficient d'angle d'incidence modifié est donnée par [1, 7] :

$$K(\theta) = 1 - \frac{f}{\lambda} \left(1 + \frac{W_a^2}{48f^2} \right) \tan\theta \quad (6)$$

Où " ℓ , (m)" est la longueur du concentrateur cylindro-parabolique.

En ce qui concerne (U_L), il représente le coefficient global de pertes thermiques, il peut être calculé par la relation suivante [1, 4, 9, 11, 14, 33]:

$$U_L = \left[\frac{A_{r,ext}}{(h_w + h_{r,v-a})A_{v,ext}} + \frac{1}{h_{r,r-v}} \right]^{-1} \quad (7)$$

Le facteur « A_v , (m^2) » est montre la surface de la vitre.

En ce qui concerne « h_w , ($W/m^2.K$) » est le coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'air ambiant, il peut être calculé par la relation suivante [1, 9, 11, 14]:

$$h_w = \frac{Nu \times K_{air}}{D_{v,o}} \quad (8)$$

Avec « K_{air} , ($W/m.K$) » est la conductivité thermique de l'air.

Quant à « Nu » est le nombre de Nusselt, ce nombre est un coefficient adimensionnel utilisé pour caractériser les transferts thermiques convectifs entre un fluide et une paroi. Ce paramètre peut être calculé en termes de régime d'écoulement de fluide. Ce paramètre peut être calculé comme suit [1, 13, 14]:

$$Nu = \begin{cases} 0,40 + 0,54 \times Re^{0,52} & \text{pour } 0,1 \leq Re \leq 1000 \\ 0,30 \times Re^{0,60} & \text{pour } 1000 < Re \leq 50000 \end{cases} \quad (9)$$

Avec « Re » représente le nombre de Reynolds. Ce nombre indique le rapport qualitatif du transfert par convection au transfert par diffusion de la quantité de mouvement. On peut aussi dire que c'est le rapport entre les

forces d'inertie et les forces visqueuses. On définit ce coefficient de la manière suivante [1, 13, 14]:

$$Re = \frac{\rho_{air} \times V_{vent} \times D_{v,o}}{\mu_{air}} \quad (10)$$

Avec « V_{vent} , (m/s) » est la vitesse du vent, « ρ_{air} , (Kg/m^3) » est la masse volumique de l'air, « μ_{air} , ($Kg/m.s$) » est la viscosité dynamique de l'air et « $D_{v,o}$, (m) » est le diamètre extérieur de la vitre.

En ce qui concerne « $h_{r,v-a}$, ($W/m^2.K$) » est le coefficient d'échange radiatif entre la vitre et l'air ambiant [1, 13, 14]. On définit ce coefficient de l'équation suivante :

$$h_{r,v-a} = \epsilon_v \times \sigma \times (T_v + T_{amb}) (T_v^2 + T_{amb}^2) \quad (11)$$

Avec « T_v , (K) » est la température de la vitre et « T_{amb} , (K) » est la température de l'air ambiant.

Pour le coefficient « $h_{r,r-v}$, ($W/m^2.K$) », il montre le facteur d'échange radiatif entre l'absorbeur et la vitre. On définit ce coefficient de l'équation suivante [1, 13, 14] :

$$h_{r,r-v} = \frac{\sigma \times (T_v + T_A) (T_v^2 + T_A^2)}{\frac{1}{\epsilon_r} + \frac{A_{r,ext}}{A_v} \left(\frac{1}{\epsilon_v} - 1 \right)} \quad (12)$$

Où, Avec « $\sigma = 5,66897 \times 10^{-8}$, ($W/m^2.K^4$) » est la constante de Stephan, « T_A , (K) » est la température de l'absorbeur, « ϵ_r » est l'émissivité d'absorbeur et « ϵ_v » est l'émissivité de la vitre.

Quant à « F' » est le facteur d'efficacité du miroir, on détermine ce coefficient par l'équation suivante [1, 13, 14] :

$$F' = \frac{1}{U_L \left(\frac{1}{U_L} + \frac{D_{A,o}}{h_{fi} D_{A,i}} + \left(\frac{D_{A,o}}{2K_F} \ln \frac{D_{A,o}}{D_{A,i}} \right) \right)} \quad (13)$$

Avec « $D_{A,i}$, (m) » est le diamètre intérieur du tube absorbeur, « $D_{A,o}$, (m) » est le diamètre extérieur du tube absorbeur, « K_F , ($W/m.K$) » est la conductivité thermique du fluide caloporteur.

Pour le coefficient « h_{fi} , ($W/m^2.K$) », il illustre le facteur d'échange thermique par convection à l'intérieur de l'absorbeur. il peut être calculé par la relation suivante [1, 9, 11, 14]:

$$h_{fi} = \frac{Nu \times K_F}{D_{A,i}} \quad (14)$$

III. RESULTATS ET INTERPRETATION

Le concentrateur cylindro-parabolique possède un miroir réfléchissant de forme parabolique disposé de manière cylindrique. Cette géométrie permet de focaliser l'énergie solaire incidente le long d'une génératrice linéaire dans laquelle est placé un tube absorbeur dans lequel circule un fluide caloporteur (eau). Le concentrateur cylindro-parabolique est généralement muni d'un suivi solaire pour adapter l'inclinaison du concentrateur de sorte que le rayonnement solaire direct incident soit toujours perpendiculaire au plan d'ouverture du concentrateur.

TABLE I

LES CARACTERISTIQUES OPTIQUES DU CONCENTRATEUR SOLAIRE PTC ETUDIE.

paramètre	Valeur
Erreur optique moyenne globale	03 mrad
Coefficient de réflexion de miroir (ρ_m)	0,92
Transmissivité de la vitre	0.945
Coefficient d'absorbions de l'absorbeur (α)	0,94
L'émissivité du tube absorbeur (ϵ_A)	0,12
L'émissivité de la vitre (ϵ_V)	0.935

Le tube absorbant est le composant principal du concentrateur cylindro-parabolique, qui a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, de le convertir en chaleur et de transmettre cette chaleur à un fluide caloporteur

TABLE II

LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DU CONCENTRATEUR SOLAIRE PTC ETUDIE.

Caractéristique géométrique	Valeur
Diamètre extérieur de l'absorbeur (D_o)	14,2 mm
Diamètre intérieur de l'absorbeur (D_i)	16 mm
Diamètre extérieur de la vitre ($D_{v,o}$)	17,5 mm
Diamètre intérieur de la vitre ($D_{v,i}$)	20 mm
Longueur de miroir (ℓ)	2000 mm
La largeur d'ouverture (W_a)	1200 mm

La largeur de l'ouverture linéaire (L)	1376,8 mm
L'angle de la jante (ϕ_r)	90 °
Le rayon de la jante (r_r)	600 mm

Enfin, un programme informatique a été développé pour simuler la performance thermique du concentrateur solaire PTC. Le programme est écrit en langage MATLAB.

La figure (4) présente l'évaluation du rayonnement solaire du lever au coucher du soleil pour la journée de 16 Mars 2018 dans la région de Guemar. Grâce à la figure (4), nous observons que la valeur maximale du rayonnement solaire total a atteint 1102,50 (W/m²) à 10H50, et la valeur minimale atteinte 5 W/m² à 19H00. Nous notons que les rayonnements solaires mesurés (Direct, Diffus et Global) ont des allures similaires, sauf qu'on note une déformation dû à un passage nuageux.

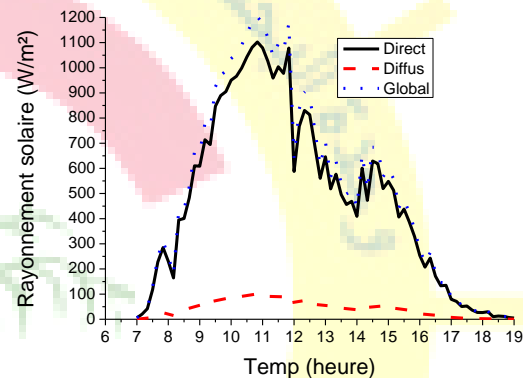


Fig.4. Les rayonnements solaires mesurés pour la journée de 16/03/2018.

Le rayonnement solaire montré dans la figure précédente est très excellent, c'est-à-dire que nous pouvons créer un champ de collecteurs solaires (plan, concentrateur, photovoltaïque, ...etc.) dans la zone étudiée. Pour confirmer cela, nous allons maintenant montrer à la fois les évolutions de la température et la vitesse du vent de la journée de 16 Mars 2018. Ce jour est un jour de printemps, ce qui signifie que la valeur du rayonnement solaire et de la température augmentera davantage en été. Cela confirme le succès du projet visant à établir le champ solaire dans la Wilaya d'El-Oued.

La figure (5) montre l'évolution de la température de l'air et de la vitesse du vent du jour étudié. La température maximale de l'air a atteint 303 (K) à 08H50, quant à la valeur minimale était de 295,90 (K) à 07H20.

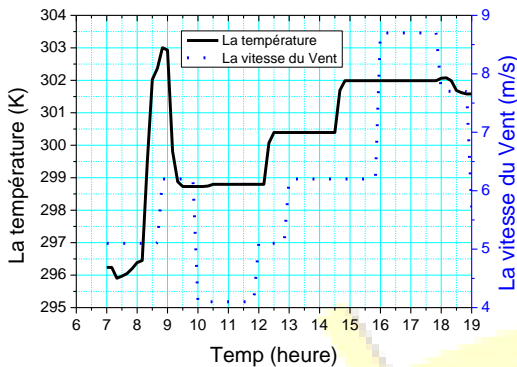


Fig.5. Les valeurs mesurées de la température d'air ambiant et de la vitesse de vent pour la journée de 16/03/2018.

En ce qui concerne la vitesse du vent, son pic atteint à 10h00, où elle a atteint 8,7 (m/s) en soir entre 16H00 et 18H00 ; par conséquent, cette vitesse du vent ne sera pas affectée par l'efficacité photovoltaïque du champ solaire car elle se rapproche de l'heure du coucher du soleil. Quant à la vitesse minimale du vent est 4,1 (m/s), cette valeur a été enregistré entre 10H00 et midi.

La figure (6) montre les changements du facteur de dissipation de la chaleur « F_R » et du facteur d'efficacité du miroir « F' » en termes de temps pour le jour étudié du lever au coucher du soleil.

L'interprétation physique de « F' » est qu'il représente le rapport entre le gain d'énergie utile réel et le gain d'énergie utile qui résulterait si la surface d'absorption du collecteur était à la température du fluide local, donc il montre la résistance au transfert de chaleur du fluide à l'air ambiant. Dans cette étude, les valeurs de ce paramètre « F' » ont changé comme suit:

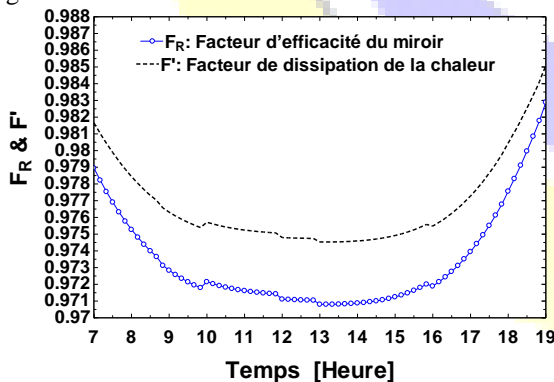


Fig.6. Evaluation du facteur de dissipation de la chaleur (F_R) et du facteur d'efficacité du miroir (F').

- Au lever du soleil, nous avons enregistré une valeur pour cette variable est égale à 0,9817 ;
- A midi, la valeur de cette variable était 0,9748 ;

- Au coucher du soleil, nous avons enregistré une valeur pour cette variable égale à 0,9851.

Ce changement s'explique par la relation inverse entre le facteur « F' » et le coefficient global « U_L , (W/m².K) » de pertes thermiques.

Pour le facteur « F_R », il représente le facteur d'efficacité du miroir. Nous pouvons dire que ce facteur illustre le rapport entre le transfert d'énergie réel et le transfert d'énergie maximum possible. Ce qui est connu est que ce coefficient change en termes de deux paramètres, le premier est « F' » et le deuxième est « U_L , (W/m².K) ». Pour cela, nous observons à travers la figure (6) que les deux facteurs « F_R et F' » changent en parallèle, mais la valeur du facteur « F' » relativement plus du « F_R », parce que les deux facteurs « F' » et « U_L , (W/m².K) » changent inversement.

Nous allons maintenant parler des performances « optique et thermique » de notre concentrateur solaire cylindro-parabolique (PTC), la figure (7) montre l'évolution de l'efficacité optique et de l'efficacité thermique du concentrateur solaire cylindro-parabolique en fonction de temps pour la journée de 16/03/2018.

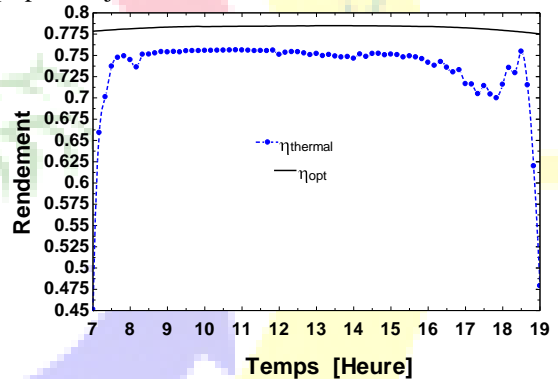


Fig.7. Evolution de rendements « optique et thermique » du concentrateur PTC en termes de temps pendant la journée de 16/03/2018.

Généralement, les concentrateurs solaires (Pontuels ou Linéaires) ont des propriétés optiques qui varient sensiblement avec la géométrie du dispositif. Les concepts généraux suivants peuvent être appliqués à tous les concentrateurs, bien que la façon dont ils sont appliqués varie avec la configuration. Donc, le changement de la configuration géométrique et le caractéristiques optiques des éléments du concentrateur solaire change, elles affectent directement le rendement optique du collecteur solaire.

Comme indiqué dans l'équation (5), de nombreux facteurs contrôlent l'efficacité optique du concentrateur solaire cylindro-parabolique, ces facteurs peuvent être liés aux propriétés optiques du PTC (Design et configuration) et peuvent également être directement affectés par

l'environnement de la manipulation (poussière, erreurs, etc.). Les facteurs optiques qui influent sur l'efficacité du concentrateur solaire PTC sont:

- Le facteur d'interception " γ " qu'exprime le pourcentage de rayonnement solaire direct réfléchi par les miroirs qui atteint le tube absorbeur. La valeur de ce paramètre est généralement d'environ 95% ;
- La réflectance du miroir « ρ_m » qui indique quelle fréquence du rayonnement incident est réfléchi par les miroirs, lorsque ceux-ci sont parfaitement propres. Les valeurs communes pour ce paramètre sont d'environ 90%, mais cette valeur diminue avec le temps ;
- La transmittance « τ » qui quantifie la quantité de rayonnement qui traverse la couverture de verre hors du rayonnement qui l'atteint. Les valeurs communes pour ce paramètre sont d'environ 90-95% ;
- L'absorptance « α_C » quantifie la quantité de rayonnement absorbée par le rayonnement total qui arrive au tube absorbeur.

Ces quatre paramètres optiques ont un impact direct sur l'efficacité de l'appareil. En plus, une partie seulement de l'énergie solaire totale peut être absorbée par le récepteur, cette puissance absorbée est donnée par l'efficacité optique « η_{opt} ». A travers la figure (7), nous notons que la grande valeur de l'efficacité optique « η_{opt} » était de 78,49 % à 13H00. Cette valeur du rendement optique est un résultat significatif du concentrateur solaire étudié. Quant à l'efficacité thermique maximale « η_{th} » était de 75,61% à 11H45, ce paramètre représente la quantité de puissance utile obtenue du collecteur PTC.

Lorsque le rayonnement solaire atteint le concentrateur solaire cylindro-parabolique (PTC), une quantité importante d'énergie est perdue pour trois raisons principales, géométriques, thermiques et optiques. Dans la partie suivante de la présentation, nous aborderons la perte thermique.

Pour le concentrateur solaire cylindro-parabolique, les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre le tube absorbeur, le tube de couverture en verre et le milieu ambiant. La puissance perdue « Q_{perdue} , (W) » est proportionnelles à la différence de température du tube absorbeur et de l'air ambiant.

La couverture transparente est utilisée pour réduire les pertes par convection entre le tube absorbeur et le tube de verre. Elle réduit également les pertes de rayonnement du concentrateur car le verre est transparent au rayonnement à ondes courtes reçu par le soleil, mais il est presque opaque

au rayonnement thermique à ondes longues émis par le tube absorbeur (effet de serre).

De plus, La couverture en verre entoure le tube absorbeur doit admettre autant d'irradiation solaire que possible et réduire autant que possible les pertes thermiques vers l'air ambiant. Bien que le verre soit pratiquement opaque au rayonnement à ondes longues émis par le tube absorbeur, donc l'absorption de ce rayonnement entraîne une augmentation de la température du verre et une perte de chaleur dans l'atmosphère environnante par rayonnement et convection.

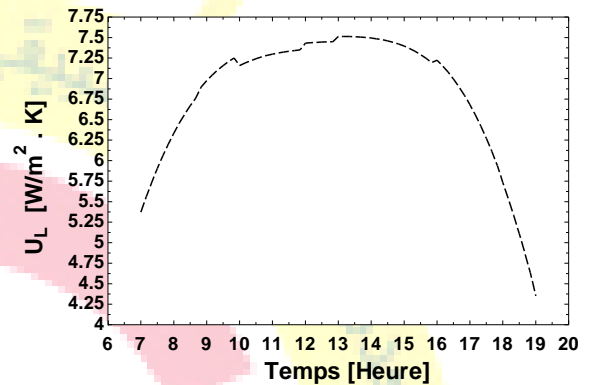


Fig.8. Evaluation du coefficient global de pertes thermiques « U_L , (W/m².K) » en fonction de temps.

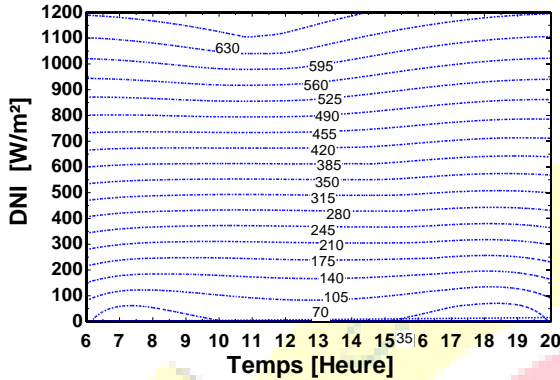
Ainsi, la réduction de la perte de chaleur du tube absorbeur peut être réalisée soit par une surface sélective pour réduire les pertes du transfert de chaleur par radiation, soit en supprimant les causes de la convection thermique en utilisant un espace annulaire (création de vide entre le tube absorbeur et le tube couverture en verre). Puisque le tube de verre entourant le tube absorbeur fonctionne pour réduire les pertes par convection et par conduction, les concentrateurs solaire cylindro-paraboliques peuvent fonctionner à des températures plus élevées que les capteurs plans, et l'efficacité thermique du concentrateur (PTC) est plus grande par rapport l'efficacité thermique du capteur plan en raison de la petite surface de pertes thermiques.

Pour notre concentrateur, la valeur maximale du coefficient de pertes thermiques est égale à 7,513 W/m².K, quant à la valeur minimale du U_L , elle est égale à 4,352 W/m².K. Généralement, En raison de la superficie relativement faible du récepteur par unité d'énergie solaire collectée, un traitement de surface sélectif et une isolation sous vide pour réduire les pertes de chaleur et améliorer l'efficacité du collecteur sont économiquement viables.

Généralement, les données horaires de l'intensité du rayonnement solaire direct, la température de l'air ambiant et la vitesse du vent sont des conditions climatiques nécessaires pour estimer la performance du concentrateur

solaire cylindro-parabolique. La puissance utile a été présentée dans la figure (9).

a) Le contour de la puissance utile en fonction de temps et du DNI.



b) Comparaison entre le DNI et la puissance utile en fonction de temps.

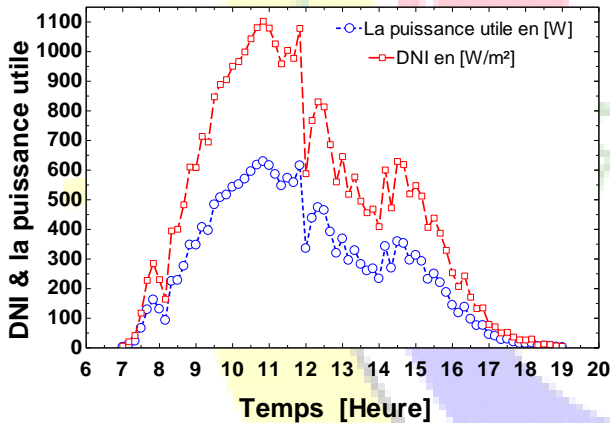


Fig.9. Evolution de la puissance utile pour la journée de 16/03/2018.

La puissance utile « Q_u , (W) » est obtenue à partir des bilans énergétiques du tube absorbeur, du fluide caloporteur et du tube de couverture en verre. Nous remarquons que l'évolution de la puissance utile est très sensible à la variation du rayonnement solaire direct et aux caractéristiques optiques des éléments du concentrateur cylindro-parabolique (PTC). En plus, Le rayonnement solaire direct incident est en partie délivré à un cycle de puissance (vers l'utilisation de la puissance utile « Q_u , (W) »), quant à la puissance perdue « Q_{perdue} , (W) » représente la perte de chaleur ambiante du concentrateur PTC.

IV. CONCLUSION

Ce travail réalisé porte sur une étude numérique de conversion d'énergie solaire en énergie thermique en utilisant un concentrateur solaire cylindro-parabolique (PTC) dans la région d'El-Oued, Algérie. Le 16 Mars 2018 a été choisi comme jour pour mener cette étude. L'eau du robinet a été choisie comme un fluide caloporteur. A travers ce sujet scientifique, toutes les caractéristiques thermiques du concentrateur solaire étudié ont été déterminées :

- La valeur maximale du rendement optique est égale à 78,49%;
- La valeur maximale du rendement thermique est égale à 75,61%;
- La valeur maximale du coefficient global « U_L , (W/m².K) » de pertes thermiques est égale à 7,513;

Ces résultats sont très encourageants pour la mise en place de champs solaires pour ce type de concentrateurs en Algérie.

REFERENCES

- [1] J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 4th ed. Wiley, 2013.
- [2] M. Ghodbane, "Étude et optimisation des performances d'une machine de climatisation à éjecteur reliée à un concentrateur solaire" Doctorat en système énergétiques et thermiques, Département de Mécanique, Université Saad Dahleb de Blida 1 2017.
- [3] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Numerical modeling of a parabolic trough solar collector at bouzaréah, Algeria," International Journal of Chemical and Petroleum Sciences, vol. 4, no. 2, pp. 11-25, 2015.
- [4] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Numerical simulation of a solar-driven ejector refrigeration cycle coupled to a parabolic trough concentrator," International Journal of Chemical and Petroleum Sciences, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 2016.
- [5] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Optical modeling and thermal behavior of a parabolic through solar collector in the algerian sahara " AMSE JOURNALS-AMSE IIETA publication-2017-Series: Modelling B, vol. 86, no. 2, pp. 406-426, 2017.
- [6] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "A parabolic trough solar collector as a solar system for heating water: a study based on numerical simulation " International Journal of Energetica (IJECA) vol. 2, no. 2, pp. 29-37 2017.
- [7] M. Ghodbane and B. boumeddane, "Engineering design and optical investigation of a concentrating collector: Case study of a parabolic trough concentrator " J. Fundam. Appl. Sci., vol. 10, no. 2, pp. 148-171, 2018.
- [8] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "Etude optique et thermique d'un concentrateur cylindro-parabolique en site

- d'Alger, Algérie," in IXth International Congress on Renewable Energy and the Environment, Djerba, Tunisie, 18-20 March 2015.
- [9] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "Simulation Numérique d'un Concentrateur Cylindro-Parabolique en El Oued, Algérie," *International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET)*, vol. 3, no. 2, pp. 68-74, 2015.
- [10] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "Développement d'un programme informatique pour la simulation du rayonnement solaire reçu par une surface inclinée," in *Journée d'étude sur les énergies renouvelables et leurs applications*, Université d'El Oued, Avril 2015.
- [11] M. Ghodbane, B. Boumeddane, S. Largot, and H. Berkane, "Modélisation d'un cycle de réfrigération solaire à éjecteur couplée à un concentrateur cylindro-parabolique," in *International Conférence en Clean Cooling Technologies in the ME NA Regions (ICT3_MENA'2015)* Bou Smail, W. Tipaza, 5-6 October 2015.
- [12] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and N. Said, "Design and experimental study of a solar system for heating water utilizing a linear Fresnel reflector," *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 804-825, <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i3.8>, 2016.
- [13] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and N. Said, "A linear Fresnel reflector as a solar system for heating water: theoretical and experimental study," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 8, no. C, pp. 176-186, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2016.06.006>, 2016.
- [14] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering : Processes and Systems*, 1st ed. Academic Press, 2009.
- [15] E. Lüpfer, U. Herrmann, H. Price, E. Zarza, R. Kistner, and P. Edition Eyrolles, "Towards standard performance analysis for parabolic trough collector fields " in *12th International Symposium Solar Power and Chemical Energy Systems*, Oaxaca Mexico, October 6-8, 2004: Instituto de Investigaciones Electricas.
- [16] A. Mokhtari, M. Yaghoubi, P. Kanan, A. Vadiee, and R. Hessami, "Thermal and optical study of parabolic trough collectors of Shiraz solar power plant " in *Third International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications Amman, Jordan May 21-23, 2007*, pp. 65-70.
- [17] M. Ghodbane, B. Boumeddane, N. Moummi, S. Largot, and H. Berkane, "Study and numerical simulation of solar system for air heating," *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 41- 60, <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i1.3>, 2016.
- [18] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Estimating solar radiation according to semi empirical approach of PERRIN DE BRICHAMBAUT: application on several areas with different climate in Algeria," *International Journal of Energetica*, vol. 1, no. 1, pp. 20-29, 2016.
- [19] N. Janotte et al., "Dynamic performance evaluation of the HelioTrough collector demonstration loop – towards a new benchmark in parabolic trough qualification," *Energy Procedia* vol. 49, pp. 109 – 117. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.012> 2014.
- [20] B. Boumeddane and N. Said, "Influence des paramètres de fonctionnement sur les performances d'une installation de climatisation solaire à éjecteur," in *21ème Congrès Français de Mécanique*, Bordeaux, 26 au 30 août 2013.
- [21] N. Janotte, E. Lüpfer, K. Pottler, and M. Schmitz, "Full parabolic trough qualification from prototype to demonstration loop," in *22nd SolarPACES 2016: International Conference on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems*, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 11–14 October 2016, vol. 1850, no. 1, pp. 020010-(pp. 1-8). <https://doi.org/10.1063/1.4984334>: American Institute of Physics.
- [22] F. J. Cabrera, A. Fernández-García, R. M. P. Silva, and M. Pérez-García, "Use of parabolic trough solar collectors for solar refrigeration and air-conditioning applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 103-118. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.081>, 2013.
- [23] N. El-Gharbi, "La centrale hybride de Hassi R'mel," in *Bulletin des énergies renouvelables*, CDER2011, vol. 11.
- [24] N. E. Gharbi, H. Derbal, S. Bouaichaoui, and N. Said, "A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.065>, 2011.
- [25] H. M. Guven, "Determination of error tolerances for the optical design of parabolic troughs for developing countries," *Solar energy*, vol. 36, no. 6, pp. 535-550, [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(86\)90018-6](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(86)90018-6), 1986.
- [26] H. M. Guven and R. B. Bannerot, "Derivation of Universal Error Parameters for Comprehensive Optical Analysis of Parabolic Troughs," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 108, no. 4, pp. 275-281, <http://dx.doi.org/10.1115/1.3268106>, 1986.
- [27] S. Kalogirou, "Parabolic Trough Collector System for Low Temperature Steam Generation: Design and Performance Characteristics," *Applied Energy*, vol. 55, no. 1, pp. 1-19, [http://dx.doi.org/10.1016/S0306-2619\(96\)00008-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0306-2619(96)00008-6), 1996.
- [28] P. Breeze et al., "Concentrating collector performance," in *Renewable Energy Focus Handbook 1st ed.*: Elsevier, 2009, pp. 357-360.
- [29] G. Pierucci, D. Fontani, P. Sansoni, and M. D. Lucia, "Shape Optimization For Parabolic Troughs Working In NonIdeal Conditions," *Energy Procedia*, vol. 57, pp. 2231– 2240, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.230>, 2014.
- [30] S. A. Kalogirou, C. C. Neocleous, and C. N. Schizas, "A comparative study of methods for estimating intercept factor of parabolic trough collectors," in *Proceedings of the Engineering Applications of Neural Networks (EANN'96) Conference*, "http://ktisis.cut.ac.cy/handle/10488/820", London, UK, 1996, pp. 5-8.
- [31] P. Bendt, M. Gaul, and A. Rabl, "Determining The Optical Quality of Focusing Collectors without Laser Ray Tracing," *J. Sol. Energy Eng*, vol. 102, no. 2, pp. 128-133, <http://dx.doi.org/10.1115/1.3266130>, 1980.
- [32] H. Gaul and A. Rabl, "Incidence-Angle Modifier and Average Optical Efficiency of Parabolic Trough Collectors," *J. Sol. Energy Eng*, vol. 102, no. 1, pp. 16-21, <http://dx.doi.org/10.1115/1.3266115>, 1980.
- [33] A. Hepbasli and Zeyad 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.