

Effet de Diamètre d'un Concentrateur Solaire Parabolique Sur la Distribution du Flux

Benderradji Razik^{1,3}, Goudmi Hamza^{2,3}, Beghidja Abdelhadi³

¹Faculté des Sciences, Département de physique, Université Mohamed BOUDIAF, M'sila, Algérie

²Université Med El-Bachir El-Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, Algérie

³laboratoires des énergies renouvelables et développement durable (LERDD), Univ. des Frères Mentouri, Constantine 1, Algérie

benderradjirazik@gmail.com

Abstract— Dans l'optique de la production d'électricité, l'énergie solaire est une source d'énergie propre et inépuisable. Actuellement les technologies de concentration solaire sont celles qui présentent le plus de possibilités pour une exploitation commerciale. Cette énergie peut être transformée en chaleur à haute température, par concentration de rayonnement solaire. Cette opération est réalisée à l'aide de capteurs appelés concentrateurs solaires. Les systèmes solaires à concentration offrent la possibilité de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire. Parmi ce type de concentrateurs, il y a les concentrateurs solaires paraboliques. Ces systèmes comportent en général une surface réfléchissante sous forme parabolique destinée à concentrer l'énergie solaire sur une surface absorbante.

Dans ce travail de recherche une étude du capteur parabolique solaire a été réalisée sur la géométrie et la distribution des flux dans la région focale. Le diamètre de la parabole est un paramètre important pour déterminer la quantité du rayonnement de flux au point focal. La géométrie a été simulée à l'aide d'un logiciel open source (Tonatiuh) qui permet de modéliser une antenne parabolique et de simuler son comportement optique. La distribution du flux a ensuite été tabulée sur le graphique coordonné pour obtenir le diamètre.

Keywords— capteur solaires paraboliques, distribution des flux, région focale, Tonatiuh

I. INTRODUCTION

Les systèmes solaires à concentration offrent la possibilité de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, les températures pouvant aisément dépasser les 500 °C et le rendement de conversion est élevé généralement. En exploitant le rayonnement solaire direct, considéré comme la ressource principale, qui est très considérable à l'échelle planétaire, ces technologies offrent une véritable alternative à la consommation des ressources fossiles avec un faible impact environnemental et un fort potentiel de réduction des coûts ainsi que la possibilité de l'hybridation de ces installations. L'énergie thermique du Soleil, quant à elle, est beaucoup plus facile à capter. Il suffit de laisser un objet foncé au Soleil pour remarquer qu'il se réchauffe. Avec une parabole réfléchissante, on peut concentrer les rayons du Soleil au foyer et donc réchauffer un objet à ce point à de très hautes températures. Cela s'avérerait peut-être beaucoup moins coûteux et beaucoup plus efficace que la conversion de lumière en énergie électrique. Et si on y plaçait un engin capable d'exploiter cette chaleur intense. L'Algérie, avec un important gisement solaire, notamment au Sahara, a pensé à exploiter cette source d'énergie, en

investissant dans ces centrales. D'où l'idée d'effectuer et de réaliser un banc d'essai représentatif, un concentrateur solaire parabolique avec un moteur Stirling (Dish/Stirling) muni d'un système de poursuite solaire fiable, et dont le but consiste en la maîtrise de ces systèmes et surtout de leur fonctionnement en milieu saharien, tout en tenant compte des effets climatiques spécifiques à la région.

Nous voulons donc concevoir de façon abordable un système capable de démontrer qu'il est possible de générer de l'énergie à partir du Soleil, la source d'énergie renouvelable par excellence. C'est dans cette perspective que nous aborderons l'effet de diamètre d'un concentrateur solaire parabolique sur la distribution du rayonnement solaire au point focal (foyer), par des simulations numériques réalisées à l'aide d'un logiciel open source (Tonatiuh) qui permet de modéliser une antenne parabolique et de simuler son comportement optique.

A. Étude des performances

- L'équation fondamentale de la collecte solaire

Le concentrateur d'un système Dish-Stirling intercepte le rayonnement solaire à travers une grande surface et le concentre dans une petite zone. Le récepteur absorbe cette énergie et transfère la plus grande partie au moteur Stirling. La quantité de chaleur qui est transférée au moteur peut être appelée chaleur utile Q_{useful} .

Une équation simple de l'équilibre énergétique, appelé « équation fondamentale de la collecte solaire » [1], décrit la théorie sous-jacente à de nombreux aspects du concentrateur et de la conception du récepteur. Cette équation régit les performances de tous les systèmes de collecte de l'énergie solaire et guide la conception des systèmes Dish-Stirling. L'équation fondamentale de la collecte solaire est :

$$Q_{useful} = I_{b,n} A_{app} E(\cos \theta_i) \rho \phi \tau \alpha - A_{rec} [U(T_{rec} - T_{amb}) + \sigma F(T_{rec}^4 - T_{amb}^4)] \dots \dots \dots (1)$$

A_{app} : Air de l'ouverture du concentrateur.

A_{rec} : Air de l'ouverture du récepteur.

E : Fraction de la superficie de l'ouverture du concentrateur non ombragé par le récepteur.

F : Conductance radiatif équivalente.

$I_{b,n}$: Faisceau du rayonnement solaire normal (insolation)
 Q_{useful} : Quantité de chaleur provenant du récepteur.

T_{amb} : Température ambiante.

T_{rec} : Température de fonctionnement du récepteur.

U : Coefficient de convection-conduction de perte de chaleur des courants d'air à l'intérieur de la cavité du récepteur, et la conduction à travers les parois du récepteur.

α : Coefficient d'absorption du récepteur.

τ : Transmittance de quoi que ce soit entre le réflecteur et l'absorbeur (comme une fenêtre couvrant le récepteur).

θ_i : L'angle d'incidence (angle entre les rayons du soleil et une ligne perpendiculaire à l'ouverture du concentrateur, pour les concentrateurs paraboliques, cet angle est de 0 degré).

ρ : Réflectivité de la surface du concentrateur.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann de transfert d'énergie par rayonnement.

Φ : Proportion de capture ou d'interception (fraction de l'énergie quittant le réflecteur qui pénètre dans le récepteur).

L'équation 1 montre que la quantité de rayonnement solaire atteignant le récepteur dépend de la quantité disponible (déterminée par $I_{b,n}$ et θ_i), la taille effective du concentrateur (déterminée par A_{app} et E), et la réflectivité de la surface de concentration (ρ). La performance thermique du récepteur dépend de la conception du récepteur (déterminée par τ et α) et les pertes de chaleur par convection, conduction et rayonnement.

• Concentrateur

L'avantage de la concentration est évident à partir de l'équation fondamentale de la collecte thermique solaire 1. Afin de maximiser Q_{useful} , A_{app} doit être grande et A_{rec} aussi petite que possible. Les paramètres en relation avec la conception du concentrateur sont :

A_{app} , A_{rec} , E , θ_i et Φ .

Le rendement du concentrateur s'écrit :

$$\eta = E (\cos \theta_i) \rho \Phi \dots \dots \dots (2)$$

E est typiquement supérieur à 95% dans la plupart des modèles [8] et, l'angle d'incidence pour un concentrateur parabolique étant nulle, ce qui rend son cosinus=1, les deux paramètres essentielles de cette équation sont la réflectivité et la fraction de capture. (La fraction de

l'énergie réfléchi par le concentrateur qui pénètre dans le récepteur, définie pour une certaine ouverture du récepteur A_{rec} et affectée par les erreurs optiques, les erreurs de suivi solaire et les erreurs d'alignement du miroir et du récepteur).

• Récepteur

Le récepteur est l'interface entre le concentrateur et le moteur. Il absorbe flux solaire concentré et la convertit en énergie thermique qui chauffe le gaz de travail du moteur Stirling. La surface d'absorption est généralement placée en arrière du point focal d'un concentrateur de telle sorte que la densité de flux à la surface d'absorption est réduite. Une ouverture est placée au foyer pour réduire le rayonnement et la perte de chaleur par convection à partir du récepteur. Les parois de la cavité entre l'ouverture de réception et la surface de l'absorbeur sont des surfaces réfractaires. La taille de l'absorbeur et parois de la cavité est généralement maintenu à un minimum afin de réduire les pertes de chaleur et le coût du récepteur.

Le fonctionnement du récepteur peut être compris en termes des paramètres indiqués ci-dessous de l'équation fondamentale de collecte solaire. Les deux premiers termes (Transmittance et Coefficient d'absorption) sont des paramètres optiques et doivent être maintenus aussi proches que possible de la valeur maximale de 1. Le reste des paramètres se trouve dans la partie soustractive droite de l'équation qui représente la perte de chaleur à partir du récepteur. Un objectif de la conception du récepteur est de minimiser ces valeurs. La performance d'un récepteur est définie par le rendement thermique du récepteur qui est définie comme l'énergie thermique utile délivré au moteur divisée par l'énergie solaire entrant dans l'ouverture de réception. En utilisant les termes de l'équation fondamentale de la collecte solaire, le rendement thermique du récepteur peut être écrit comme [1].

$$\eta_{rec} = \tau \alpha - U (T_{rec} - T_{amb}) + \sigma F (T_{rec}^4 - T_{amb}^4) / \eta_{rec} C R_g I_{b,n} \dots \dots \dots (3)$$

L'efficacité du récepteur peut être améliorée en augmentant la transmittance de l'isolation, ce qui augmente le coefficient d'absorption de la surface, qui réduit la température de fonctionnement, ou qui permet de réduire la capacité de la cavité à perdre de la chaleur par conduction, convection et rayonnement.

II. SIMULATION DES SYSTEMES DE CONCENTRATION

Tonatiuh est un logiciel open source qui permet de modéliser une antenne parabolique et de simuler son comportement optique. Il permet également estimer la distribution du flux solaire concentré au niveau du plan focal de la parabole et des paramètres associés. Tels que le rayon maximum de cette distribution, à savoir, la taille du spot de rayonnement solaire au niveau du plan focal. Nous allons utiliser les valeurs suivantes pour les paramètres définissant la géométrie de plat et le récepteur:

1. Miroir parabolique :

Rayon = quatre rayon différents (1, 2, 3 et 4) mètres
 Longueur focale = 0.41 mètres

2. Appartement récepteur de disque :
Rayon = 0,06 mètres

A. Modélisation de parabole

Comme le montre l'interface graphique de Tonatiuh, figure.3, nous avons réussi à créer une parabole. Cependant, la parabole que nous avons créée n'est pas la parabole que nous voulions modéliser. La raison pour cela est que nous n'avons pas changé les valeurs par défaut.

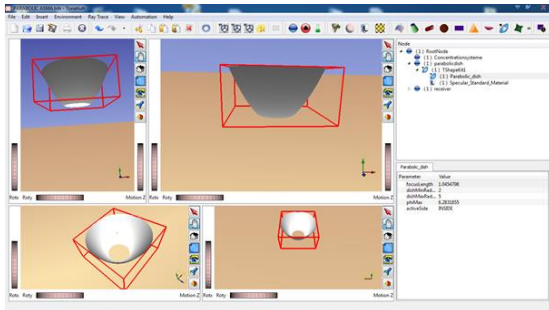


Fig.1. Création de la parabole.

De toute évidence, nous devons changer les valeurs attribuées à certaines des variables pour modéliser la parabole que nous sommes intéressés par les changements dont nous avons besoin pour mener à bien sont les suivants:

- ✓ Changer la longueur focale "focusLength"
- ✓ Changer le rayon minimum "dishMinRadius"
- ✓ Changer le rayon maximum "dishMaxRadius"
- ✓ Changer le côté actif à des fins de représentation "active Side" à "INSIDE".

Après avoir fait cela, l'interface utilisateur de Tonatiuh devrait ressembler à ceci:

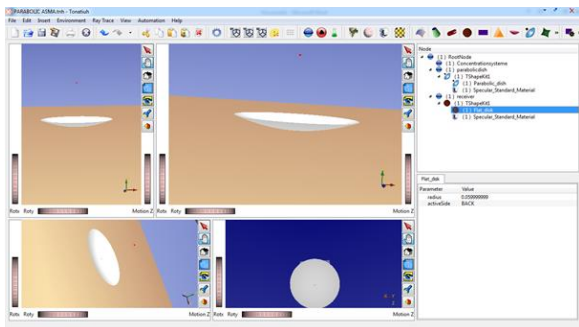


Fig. 2. La parabole.

Bien, nous avons modélisé la géométrie de la parabole, il nous reste à modéliser ses propriétés physiques. Pour ce faire, nous sélectionnons le nœud "Spécular_Standard_Matériel" et changer les valeurs des variables suivantes de leurs valeurs par défaut à ceux qui suivent:

- ✓ La réflectivité = 1
- ✓ Le sigma Slope = 0

En réglant le pouvoir de réflexion, nous disons Tonatiuh que le miroir doit être modélisé sous la forme d'un miroir réfléchissant avec un Réflectivité de 94%.

B. Modélisation du rayonnement solaire direct

Pour notre exemple l'irradiation solaire est de 4700 W / m², et on a besoin de changer l'azimut et l'élévation du vecteur de soleil, parce que par défaut l'azimut est considéré comme 0 degrés. Pour notre Wilaya de Bordj Bou Arreridj, Latitude et Longitude sont respectivement 36.08333 et 4.75, et l'élévation de 90 degrés, qui est, le soleil vecteur, par défaut, est définie dans la direction y vers le haut et par conséquent, aligné avec l'axe optique du miroir parabolique que nous venons modéliser [5].

C. Traçage de rayonnement

Une fois que nous avons modélisé le système de concentration solaire et le rayonnement solaire direct entrant, nous sommes prêts à exécuter Tonatiuh pour rayons de trace des rayons du Soleil dans le système de concentration et de recueillir des rayons tracés du ray pour le post-traitement à l'extérieur Tonatiuh. Nous modifions simplement le nombre de rayons à tracer par Tonatiuh de la valeur par défaut de 10000 à 1000 de rayons. L'optimisation des paramètres dans un collecteur parabolique [1]. Dans cette recherche, la méthode de lancer de rayon est utilisée pour simuler le rayonnement solaire dans le parabolique. Le diamètre est varié de 1 mètre à 4 mètres. La longueur focale est mesurée par la fraction du diamètre de la cuvette comme sur la Figure.4.9. Une fois que tous les paramètres ont été réglés, le lancer de rayons est exécuté. Le flux incident au niveau du récepteur est mappé par un mappage de coordonnées à deux dimensions. La réflexion de chaque élément de concentrateur est cartographiée analytiquement sur la surface du récepteur cylindrique. Dans l'analyse suivante, la concentration sur la surface du récepteur est d'abord calculée dans les conditions idéalisées de l'incidence solaire collimateur, alignée avec l'axe d'un concentrateur à surface parfaite [2].

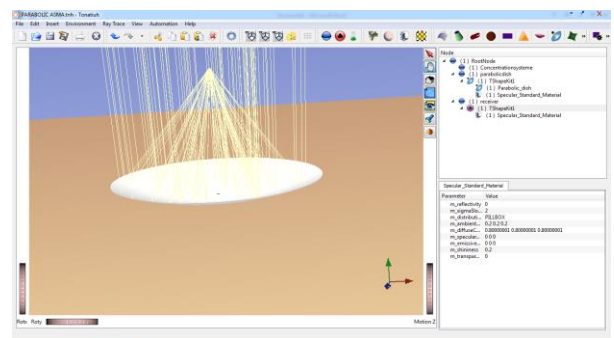


Fig. 3. Traçage du rayonnement solaire réfléchi et concentré.

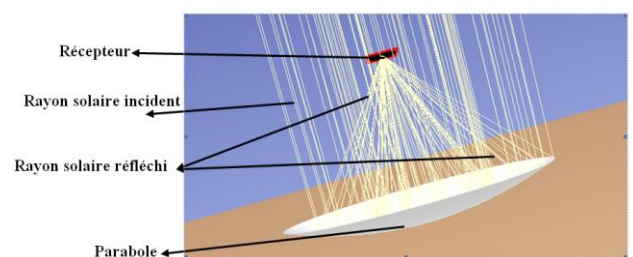


Fig. 4. Ensemble Parabole - Récepteur.

III. RESULTATS ET CALCULS

Après voir le comportement optique du rayonnement solaire réfléchi et concentrée sur le récepteur on peut calculer des paramètres tel que la puissance, la quantité de chaleur, le travail et le rendement.

A. Distribution de flux dans la région focale (récepteur de disque ou foyer)

Le rayonnement solaire est tracé exactement comme le graphique représenté sur la Figure 5. La distribution de flux du rayonnement peut être déterminée par la région focale d'imagerie et de non-imagerie des paramètres de parabole respectifs [3]. On remarque que la quantité de flux de chaleur obtenu par les rayonnements solaire réfléchi et concentrée sur le récepteur est plus grande lorsque le diamètre de parabole augment. La coordonnée de flux peut déterminer l'intensité du flux comme indiqué dans la figure 5. A. Le plus petit diamètre parabolique (1 mètre), est le plus petit diamètre de flux imagerie, et le diamètre de flux non imageur d'un autre côté et aussi le plus grand diamètre de flux. Pour un diamètre parabolique plus grand (2 mètres et plus) figure.5. B. L'image est beaucoup plus grande, avec une distribution de diamètre de flux non-imagerie plus petit. La distribution du flux d'imagerie pour la plus grande parabole de 4 mètres figure.5. C. Peut être lue à une valeur de 0.054 mètre pour le diamètre imagerie et de 0.006 mètre pour le diamètre non imagerie.

Le tableau 1 : représenter la quantité d'énergie et le flux de chaleur génère par le rayonnement solaire réfléchi et concentrée sur le récepteur.

Le diamètre imagerie et non-imagerie peut être déterminé la taille du récepteur focal pour le futur développement du système de collecteur parabolique. Ce la pourrait être la raison pour laquelle la plus grande partie du rayonnement est capturée par une taille d'ouverture optimale du récepteur de chaleur. Le diamètre du flux détermine l'ouverture d'ouverture du récepteur afin qu'il soit suffisamment grand pour recevoir la plus grande partie du rayonnement solaire [3][4][5].

TABLE I. QUANTITE D'ENERGIE ET FLUX DE CHALEUR PRODUISE DANS LE RECEPTEUR POUR LE DIFFERENT DIAMETRE PARABOLIQUE.

Diamètre parabolique	Quantité d'énergie [W]	Flux de chaleur [W/m^2]
1 m	9612.45	2.62765e+06
2 m	12162.2	2.97933e+06
3 m	11284.6	2.55726e+06
4 m	16695.	3.45374e+06

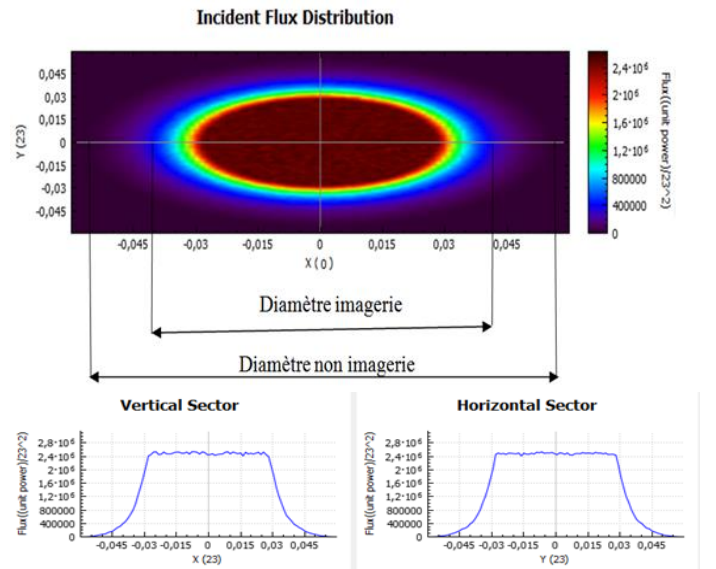


Fig. 5. A. Distribution de flux concentré dans la région focale pour la parabole ($d = 1$ m).

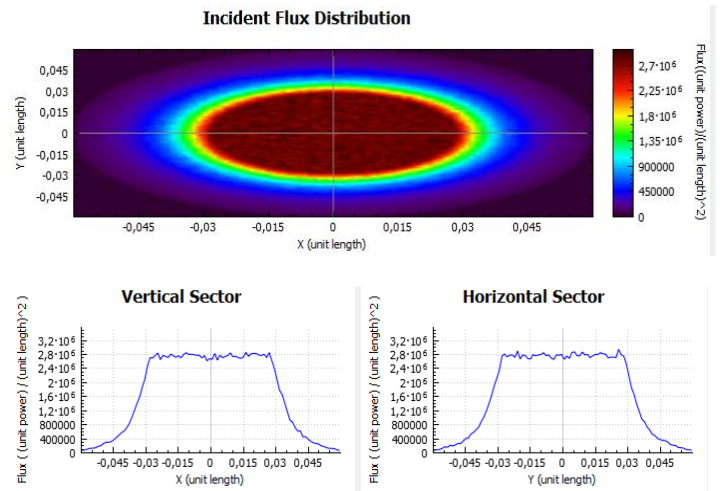


Fig. 5. B. Distribution de flux concentré dans la région focale pour la parabole ($d = 2$ m).

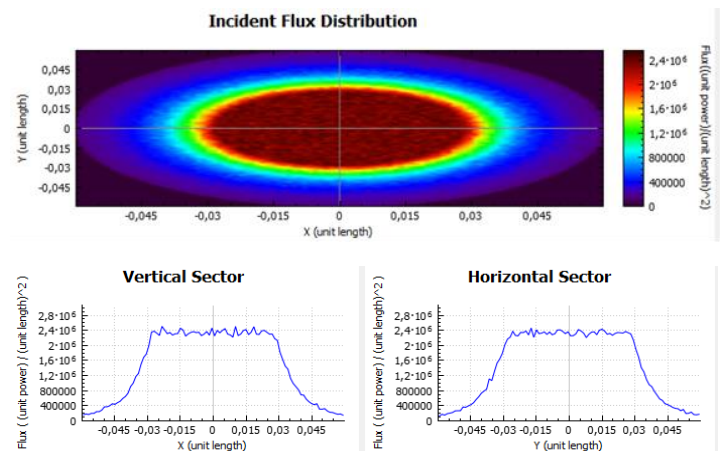


Fig. 5. C. Distribution de flux concentré dans la région focale pour la parabole ($d = 3$ m).

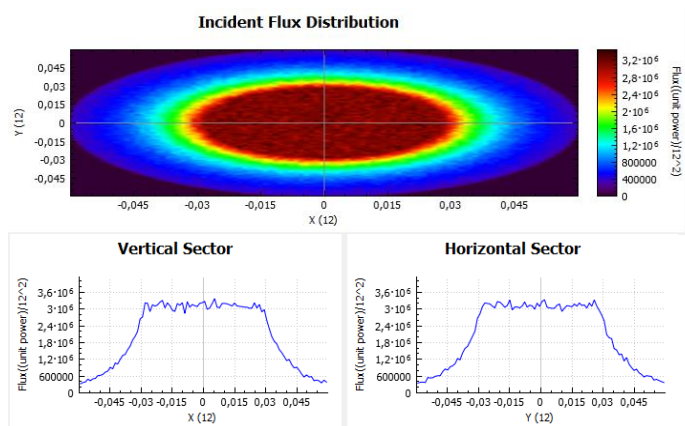


Fig. 5. D. Distribution de flux concentré dans la région focale pour la parabole ($d = 4$ m).

IV. CONCLUSION

Le diamètre de la parabole et l'angle de la jante détermine la distance focale de la parabole. Il est essentiel de connaître la valeur de l'angle de la jante pour optimiser la collecte du flux solaire. La déviation angulaire des rayons réfléchis est fragmentée en raison de la taille finie de l'incident entrant sur la puissance de focalisation du collecteur parabolique. Des faisceaux de rayons de flux de chaleur solaire provenant de chaque élément solaire sont ensuite rendus incidents avec un angle d'incidence unique sur chacun des éléments concentrateurs. L'efficacité de la parabole repose sur l'intensité du flux du point focal. La zone focale affecte à la fois l'efficacité optique et le rapport de concentration de la parabole solaire. Un point de focalisation correct est essentiel pour une lecture et une collecte de chaleur précises. L'angle de la jante donne la valeur réelle du rayonnement concentré car il prend en compte les pertes optiques dues à la réflexion du rayonnement solaire

REFERENCES

- [1] William B. Stine and Richard B. Diver, Technical report: « A compedium of Solar Dish-Stirling technology » 1994 GRAS,
- [2] Pierre. Moteur Stirling <http://www.moteurstirling.com/comment.php>.
- [3] Billy Anak Sup, Mohd. Farid Zainudin, Tanti Zanariah Shamsir Ali, Rosli Abu Bakar Gan Leong Minga "Effect of rim angle to the flux distribution diameter in solar parabolic dish collector" 2nd International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, ICSEEA 2014, Available online at www.sciencedirect.com.
- [4] Camilo A. Arancibia-Bulnes, Manuel I. Peña-Cruz, Amaia Mutuberria, Rufino Díaz-Urbe, Marcelino Sánchez-González. "A survey of methods for the evaluation of reflective solar concentrator optics", Renewable and Sustainable Energy Reviews · March 2017, DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.048. <https://www.researchgate.net/publication/310791031>
- [5] Manuel J. "Tonatiuh: An object oriented, distributed computing, Monte-Carlo ray tracer for the design and simulation of solar concentrating systems". The University of Texas at Brownsville, Brownsville, Texas, manuel.blanco@utb.edu.
- [6] F. Eddhibi, M. Ben Amara, M. Balghouthi, L. Qoaidar, A.A. Guizani "Analytic optical design of a Linear Fresnel solar collector with variable parameters" Journal of Materials and Environmental Sciences, ISSN: 2028-2508. 2017 Volume 8, Issue 11, Page 4068-4084.
- [7] Miguel Terrón-Hernández, Manuel I. Peña-Cruz, Jose G. Carrillo, Ulises Diego-Ayala and Vicente Flores "Solar Ray Tracing Analysis to Determine Energy Availability in a CPC Designed for Use as a Residential Water Heater ", Energies 2018, 11, 291; doi:10.3390/en11020291.
- [8] K.LOVEGROVE, Paraboloidal dish solar concentrators for multi megawatt power generation, ISES Solar World Conference, Goteborg, Suède, 2003.
- [9] R. Leutz and H.P. Annen, 'Reverse Ray-Tracing Model for the Performance Evaluation of Stationary Solar Concentrators', Solar Energy, Vol. 81, N°6, pp. 761 – 767, 2007.
- [10] J.A. Duffie and W.A. Beckman, 'Solar Engineering of Thermal Processes', 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc, New York, pp. 331 - 375, 1991.
- [11] A. Ferrière, 'Les Centrales Solaires Thermodynamiques: L'Etat de l'Art et les Perspectives Mondiales', Colloque de l'Institut ENSAM de Corse, Bastia, Mars 2005.