



Étude et Analyse du Gisement Solaire Pour une Région Désertique : Type Adrar

Dr. Oudrane Abdellatif^{#1}, Pr. Aour Benaoumeur², Pr. Hamouda Masaoud³

¹Centre universitaire El-Wancharissi de Tissemsilt, Route de Bougra Ben Hamouda, 38004, Tissemsilt, (Algérie), ^{#1}abdellatif.habadat@gmail.com.

²Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB), BP 1523 El Mnaour, ENP Oran, 31000, Oran, (Algérie), ²ben_aour@yahoo.fr.

³Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URER'MS), Adrar, (Algérie). ³jhamouda@yahoo.fr.

Résumé—L'objectif du travail consiste à modéliser et déterminer la quantité effective de la densité du flux solaire incident sur les différentes façades d'une maison bioclimatique dans une région désertique (Adrar - Algérie) en se basant sur le modèle de Liu & Jordan. En effet, le calcul de la densité du flux solaire nécessite de connaître la position précise du soleil à chaque instant dans la journée en considérant l'atmosphère comme une source isotrope de rayonnement solaire diffus. Il est à noter également que les effets de masque, les réflexions multiples sur les objets où les transparences sont négligées. La simulation numérique de l'évolution horaire de la température externe, ainsi que la quantité du flux solaire en utilisant des données climatiques de l'année de 2014, a permis d'estimer la quantité globale de la densité du flux solaire pour chaque façade de la maison (Sud, Est, Nord et Ouest). Ce modèle basé sur des paramètres physiques a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants dans le domaine radiatif.

Mots-clés—Région désertique, Température, Bioclimatique, Transfert thermique, Densité du flux.

1. Introduction

L'Algérie n'y fait pas d'exception, surtout qu'il dispose d'un grand potentiel en énergie solaire et en énergie éolienne. L'intérêt que le pays porte au développement des énergies vertes procède de sa volonté de réduire sa dépendance des ressources énergétiques fossiles et de contribuer à la lutte contre les changements climatiques [1]. Les logiciels de dimensionnement des installations thermiques font appel ; dans la plupart des cas, à des bases de données intégrées pour calculer le flux solaire, basées essentiellement sur le modèle de l'Atlas Solaire de l'Algérie de Capderou [2].

Dans ce contexte, la première étape, consiste à déterminer les différents paramètres astronomiques. Précisément, la position exacte du soleil quel que soit le moment de l'année. En effet, il est nécessaire de définir les deux concepts

indispensables : la latitude et la longitude de lieu [3]. La détermination du flux solaire incident sur les parois pour différentes orientations d'une maison dans cette région désertique a été étudiée en analysant l'effet des conditions climatiques sur l'évolution du flux solaire. De plus, on présente dans ce travail la procédure numérique pour l'évaluation de la densité du flux solaire pour différentes façades constituant la maison bioclimatique. En effet, les notions fondamentales d'astronomie qui donnent l'information sur le rayonnement reçu par le sol ont été également présentées. Les données nécessaires à l'établissement du bilan énergétique solaire sont obtenues on se basant sur la variation sinusoïdale de la température ambiante et du flux global reçu sur un plan horizontal. Ces données, ont été mesurées au cours de l'année 2014 par une station radiométrique dans le site d'Adrar.

2. Données expérimentales et site d'implantation

Nous avons choisi la région d'ADRAR pour cette étude comme site d'implantation avec les coordonnées astronomiques suivantes : $\varphi = 27^{\circ}88' N$ et $\lambda = -0^{\circ}27' E$ [4]. Ce choix est basé sur le fait que la région d'ADRAR est une ville très riche en énergie solaire, vu son taux d'ensoleillement moyen qui atteint environ $9963 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{J}$ [5,6 et 7].

Les données du rayonnement solaire (Tableau 1) utilisées dans cette étude, sont mesurées par la station radiométrique de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien d'ADRAR. Cette station autonome est réalisée à la fin de l'année 2010. De plus, elle assure la mesure du rayonnement global sur trois plans compris la température ambiante.

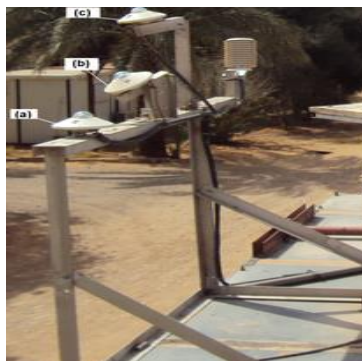


Figure 1. La station radiométrique de l'URER'MS : (a) global horizontal, (b) incliné suivant la latitude, (c) inclinaison variable.

Tableau. 1. Données climatiques de la région d'ADRAR [4].

Année 2014	Nov.	Jui.	Juil.	Aou.
Flux_Max (W/m ²)	753	1052	1051	1040
TMax (°C)	30.8	42.2	47.8	47.7
TMin (°C)	22.4	25.6	32.5	39.0
Durée du jour (h)	11	14	14	13
Levée-soleil (h)	7	5	5	6
Couchée-soleil (h)	18	19	19	19

3. Formulation mathématique

3. Modélisation des paramètres géométriques et atmosphériques

3.1. Angle horaire

L'angle horaire (ω) du soleil est déterminé par la rotation diurne de la terre autour de son axe. Cet angle est exprimé en ($^{\circ}$) et est donné par l'expression suivante [8,9] :

$$\omega = 15.(TSV - 12) \quad (1)$$

3.2. Déclinaison solaire

La déclinaison du soleil (δ) est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre [8,9]:

$$\delta = 23^{\circ}45'. \sin\left(\frac{360^{\circ}}{365} \cdot (J + 284)\right) \quad (2)$$

3.3. Hauteur du soleil

C'est l'angle (h) formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil [8-10]. Il est donné par la relation:

$$\sin(h) = [\sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)] + [\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega)] \quad (3)$$

La durée astronomique du jour s'obtient par [11] :

$$D_0 = \left(\frac{2}{15}\right) \cdot [\text{Arc cos}(-\text{tg}(\varphi) \cdot \text{tg}(\delta))] \quad (4)$$

3.4. Azimut du soleil

L'azimut est relié à l'angle horaire, la hauteur et la déclinaison par la relation [12] :

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (5)$$

3.5. Équation du temps

C'est l' différence du temps et elle est appelée équation de correction du temps. Elle varie en fonction du jour et de la longitude et est donnée par l' expression suivante [13,14] :

$$Et = 9.87 \cdot \sin\left(720^\circ \cdot \left(\frac{J-81}{365}\right)\right) - 7.53 \cdot \cos\left(360^\circ \cdot \left(\frac{J-81}{365}\right)\right) - 1.5 \cdot \sin\left(360^\circ \cdot \left(\frac{J-81}{365}\right)\right) \quad (6)$$

4. Rayonnement solaire incident sur un plan quelconque par ciel clair

4.1. Angle d' incidence du rayonnement

Dans les applications solaires la question est donc de calculer l' angle (θ) entre un rayon arrivant directement du soleil et la normale à un plan quelconque (voir Figure 2). L' orientation du plan est définie par [15] :

- L' inclinaison (β) : Angle que fait le plan avec l' horizontal.
- L' azimut (γ) : Angle que fait la normale à la surface du plan considéré et le plan méridien.

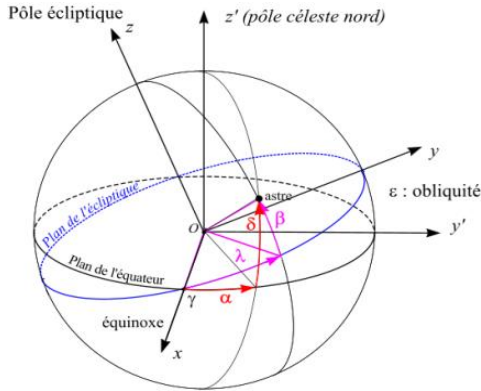


Figure 2. Azimut (orientation) et inclinaison d' un plan quelconque [10].

L' angle d' incidence (θ) est l' angle entre la direction du soleil et la normale du plan. Cet angle est déterminé en coordonnées horaires comme suit [4-15] :

$$\begin{aligned} \cos(\theta) &= \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\beta) - \sin(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \\ &\quad \cos(\beta) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) \cdot \sin(\omega) \end{aligned} \quad (7)$$

4.2. Calcul du rayonnement pour un plan d' inclinaison quelconque

4.2.1. Calcul pour un ciel clair sur un plan horizontal

Le rayonnement global (RGH) reçu par un plan horizontal se décompose en deux composantes :

- Le rayonnement direct (I) où (RDIRH).
- Le rayonnement diffus (D) où (RDIFH) de toute la voûte céleste.

Nous aurons donc sur un plan horizontal [11-16] :

$$G_h = I \cdot [\sin(h)] + D_h = I_h + D_h \quad (8)$$

4.2.2. Calcul du rayonnement diffus pour un plan horizontal

Le rayonnement diffus pour une surface horizontale est donné par l'expression [10] :

$$D_h = RDIFH = 120 \cdot \Gamma \cdot \text{Exp} \left(\frac{-1}{0.4511 + \sin(h)} \right) \quad (9)$$

$$\Gamma = 0.796 - 0.01 \cdot \sin \left(\frac{360^\circ}{365} \cdot (J + 284) \right) \quad (10)$$

4.2.3. Calcul du rayonnement pour un plan incliné

Dans la pratique le rayonnement solaire global sur un plan incliné s'exprime sous la forme suivante [17,18] :

$$G_i = (I_h \cdot R_b) + D_h \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + (\rho \cdot G_h) \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (11)$$

Où :

$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (12)$$

Et :

$$\cos(\theta_z) = [\sin(\varphi) \sin(\delta)] + [\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega)] \quad (13)$$

4. Organigramme de la modélisation numérique

Le calcul de la densité du flux solaire incident sur chaque façade des parois de la maison est effectué selon l'organigramme suivant :

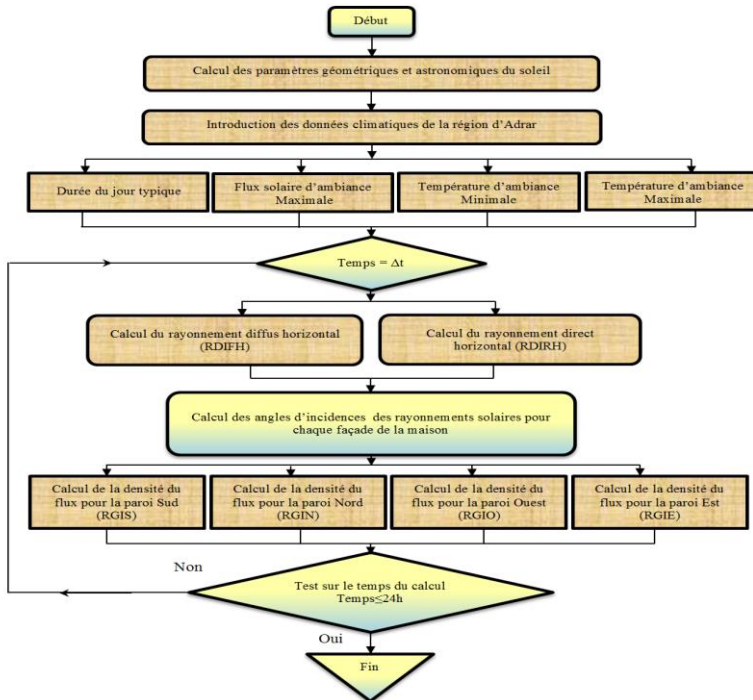


Figure 3. Organigramme de la modélisation de la densité du flux solaire des parois de l'habitat bioclimatique.

5. Résultats et discussions

5.1. Evolution de la température de l'ambiance externe

La figure 4 représente l'évolution de la température ambiante externe dans les deux mois d'été (Juin, Juillet) de la ville d'ADRAR localisée au sud de l'Algérie. On constate que l'évolution de la température externe possède un comportement parabolique. On remarque aussi que l'amplitude thermique de la période diurne pour le jour type de chaque mois considéré est environ de 42°C pour le mois de juin (Fig. 4(a)) et 47,7°C pour le mois de juillet (Fig. 4(b)) et est sensible à la période nocturne. De plus, il est clair que le pic de la température ambiante pour les deux mois de Juin et Juillet est enregistré exactement à midi en temps local.

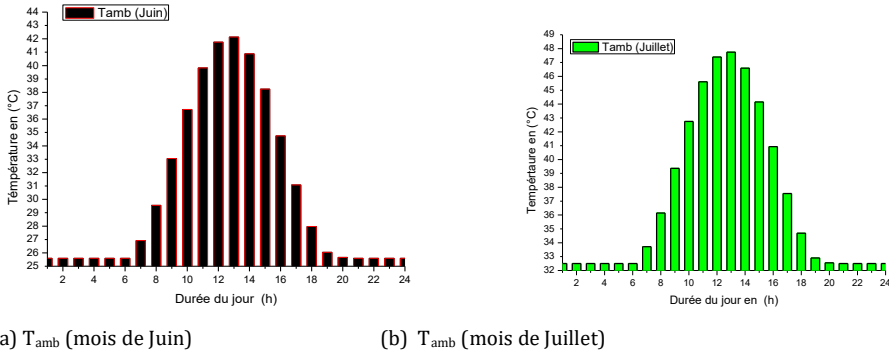


Figure4. Évolution de la température ambiante en fonction du temps local, pour les journées typique deux mois sélectionnés (juin-juillet) de l'année 2014.

5.2. Evolution des densités du flux solaire direct et diffus horizontal le mois de Juillet

La figure 5 montre la présentation des composantes directe et diffuse de la densité du flux solaire global (RGH) en temps solaire vrai afin de déduire l'énergie maximale reçue en tout point dans le jour type du 17 juillet 2014. En effet, pour une journée parfaitement ensoleillée en l'absence de toute surface réfléchissante, on constate que les valeurs illustrées dans la figure 5 n'ont donc de sens qu'en puissance instantanée de la densité du flux solaire horaire.

On conclut aussi que pour n'importe quelle densité du flux solaire global reçu par un plan horizontal pour un mois donné soit Juin ou Juillet, il doit y avoir d'une part une composante de la densité du flux solaire direct (RDIRH) qui a des valeurs horaires un peu plus petit que celles des globaux et d'une autre part, une composante de la densité du flux solaire diffus (RDIFH) avec des valeurs aussi plus petites que celles des directs.

5.3. Evolution de la densité du flux solaire des parois inclinées

5.3.1. Cas de la façade de la paroi Est

La figure 6 présente l'évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade Est de la maison pour les deux mois de la saison d'été. On constate que pour cette façade, pendant la période nocturne, la densité du flux solaire incident est nulle. Pendant la période diurne, elle évolue dans le sens croissant, et passe par un maximum vers 09h00 en temps local pour les deux mois de juin et juillet (figures 6(a) et 6(b)). Ensuite, il décroît jusqu'à devenir nul à midi en

temps local pour les deux mois. Mais ce qui diffère d'une façade à une autre, c'est la valeur maximale et l'instant correspondant, qui varient selon le mois et le jour type. Les valeurs maximales de la densité reçue sur la façade Est avec une inclinaison de 90° par rapport au plan horizontal pour les mois de juin et juillet sont respectivement 128,84 W/m² (figure 6(a)) et 128,72 W/m² (Fig. 6(b)).

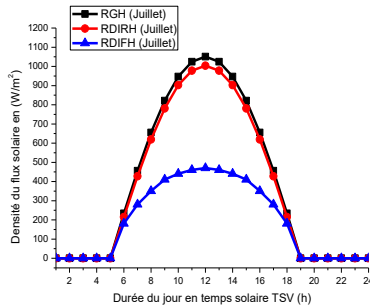
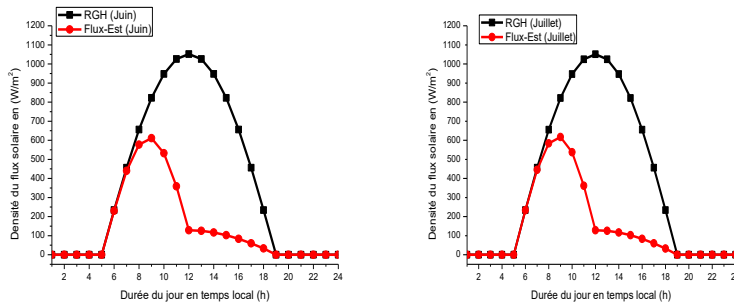


Figure 5. Evolution des composantes de la densité du flux solaire global en fonction du temps solaire durant une journée typique.



(a) Façade Est (mois de Juin)

(b) Façade Est (mois de juillet)

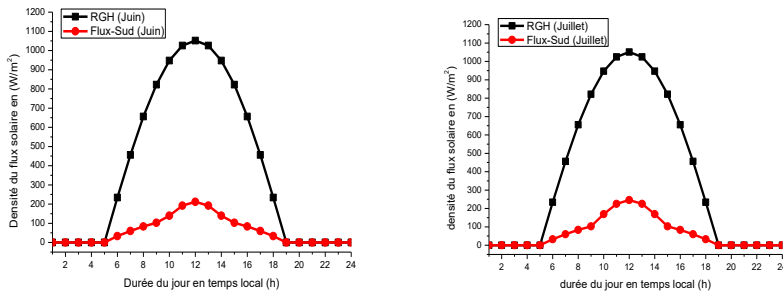
Figure 6. Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade inclinée Est (90°) en fonction du temps local pour les journées typiques des deux mois sélectionnés.

5.3.2. Cas de la façade de la paroi Sud

La figure 7 représente l'évolution horaire de la densité du flux solaire incident sur la façade Sud de la maison bioclimatique en fonction du temps local. On constate que la densité du flux solaire au milieu de la journée est visiblement plus grande que celle des périodes avant midi et après midi et atteint des valeurs maximales aux environs de 211,63W/m² pour le mois de

juin (fig. (7, a)) et 245,28W/m² pour le mois de juillet (fig. (7, b)) en temps local. En effet, la différence de la densité du flux d'un mois à l'autre est due à l'effet du soleil durant une journée dans la saison d'été qui permet l'augmentation des rayonnements solaires et la température d'ambiance externe de la maison.

La figure 8 représente une comparaison de l'évolution horaire des densités du flux solaire incident sur la façade horizontale (le toit externe) et les façades verticales (Sud, Est, Ouest et Nord) de l'enveloppe de la maison bioclimatique durant la journée typique. D'après cette représentation comparative entre les différentes densités du flux solaire, on conclut que l'ensemble des flux Est et Sud est acceptable, puisque physiquement, la façade horizontale avec un angle d'inclinaison de 0° reçoit le plus grand rayonnement solaire par rapport aux façades verticales avec un angle d'inclinaison de 90°.



(a) Façade Sud (mois de Juin)

(b) Façade Sud (mois de Juillet)

Figure7. Évolution de la densité du flux solaire incident sur la façade inclinée sud (90°) en fonction du temps local pour les journées typiques des deux mois sélectionnés.

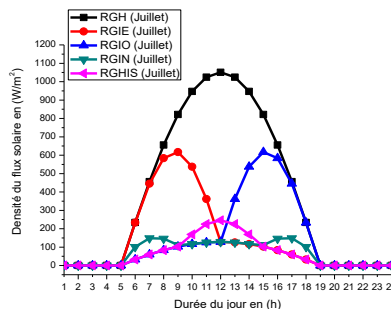


Figure8. Evolution des densités des flux solaires incidents pour différentes orientations de la maison bioclimatique considérées au cours de la journée typique.

6. Conclusions



Dans le domaine du chauffage ou la climatisation solaire, les différents flux radiatifs et de chaleur jouent un rôle prépondérant. Dans ce contexte, ce présent travail a pour objectif de déterminer la quantité du flux solaire pour chaque façade de la maison bioclimatique individuelle implantée dans la région d'Adrar afin de satisfaire les besoins du chauffage ou la climatisation.

D'après les résultats obtenus, nous avons conclu que, la façade plein Sud dans la saison d'été est le plus optimale pour obtenir une très grande densité du flux solaire. De plus, en faisant une comparaison de la densité du flux solaire pour les journées typique des deux mois sélectionnés (juin-juillet), nous avons constaté que le meilleur apport solaire est enregistré au mois de juillet dans la façade sud avec une densité de $245,28\text{W/m}^2$.

Nomenclature		
D_0	Durée astronomique du jour	h
D_h	Rayonnement diffus horizontal	$W.m^{-2}$
DHE	Décalage horaire	h
Et	Correction du temps	min
$Flux - Max$	Flux d'ambiance max	$W.m^{-2}$
G_i	Rayonnement global incliné	$W.m^{-2}$
G_h	Rayonnement global horizontal	$W.m^{-2}$
h	Hauteur angulaire du soleil	(°)
I_h	Rayonnement global horizontal	$W.m^{-2}$
J	Numéro du jour dans l'année	-
$RDIRH$	Rayonnement direct horizontal	$W.m^{-2}$
$RDIFH$	Rayonnement diffus horizontal	$W.m^{-2}$
RGH	Rayonnement global horizontal	$W.m^{-2}$
R_b	Facteur géométrique du plan	-
TLG	Temps légal du lieu	h
T_{Max}	Température d'ambiance max	°C
T_{Min}	Température d'ambiance min	°C
TSV	Temps solaire vrai	h
α	Azimut soleil	(°)
β	Inclinaison du plan	(°)
δ	Déclinaison du soleil	(°)



γ	Azimut du plan	(°)
φ	Altitude de lieu	(°)
λ	Longitude de lieu	(°)
Γ	Facteur de nébulosité du ciel	-
θ_z	Angle zénithal	(°)
ρ	Albédo du sol = 0,25	-
ω	Angle horaire du soleil	(°)

7. Références

- [1] M. Ghodbane, study and numerical simulation of solar system for air heating, Journal of Fundamental and Applied Sciences, 01 January 2016.
- [2] F. Yettou, Etude comparative de deux modèles de calcul du rayonnement solaire par ciel clair en Algérie, Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2, 2009, pp 331 – 346.
- [3] M. Hamdani, étude et modélisation du potentiel solaire adéquat pour l'estimation des éclaircissements incidents à Ghardaïa, revue internationale d'héliotechnique n° 43, 2011, pp.8-13.
- [4] Rapport technique de la station radiométrique, "EnerMENA" High Precision Meteorological Station of Research Unit for Renewable Energies in the Saharan Environment in ADRAR, Algeria, 2014.
- [5] M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 2; Aspect énergétique, 15 juin 1985.
- [6] A. Oudrane, B. Aour, B. Zeghmami, X. Chesneau and M. Hamouda, Study and simulation of the density of the incident solar flux on the walls of a building in the ADRAR site, Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 7, No. 5, 2017, pp.1940-1945.
- [7] A. Oudrane, B. Aour, M. Hamouda et M. Benhamou, Méthodologie pour la détermination de l'écartement optimal de la chaîne tubulaire d'une dalle chauffante, Revue des Energies Renouvelables Vol. 19 N°1, 2016, pp.11-19.
- [8] A. Ricaud Jan, Gisements solaire et transferts énergétiques, Université de Cergy-Pontoise, 2011.
- [9] A. Brahimi, Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau, Mémoire de Master 2, Centre de Développement des Energies Renouvelable CDER de Bouzaréah (Alger), Février 2016.
- [10] Y. El Mghouchi, New model to estimate and evaluate the solar radiation, International Journal of Sustainable Built Environment, vol N°3, 2014, pp.225-234.
- [11] L. Yuehua, Evaluation of three models for calculating daily global solar radiation at Yushu, Tibet, Engineering College of Armed Police Force Xi'an 710086, China, IEEE 978-1-61284-459-6/11, 2011.
- [12] K. Kabidi, Expérimentation et modélisation du comportement énergétique et thermique d'un séchoir solaire sous le climat de la région de Rabat, thèse de



doctorat, université Mohammed v – Agdal faculté des sciences Rabat, 10 Juillet 2014.

- [13] K. Kerkouche, Evaluation de l'irradiation solaire globale sur une surface inclinée selon différents modèles pour le site de Bouzaréah, Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°2, 2013, pp.269 -284.
- [14] A. Oudrane, B. Zeghami, X. Chesneau and B. Aour, Modeling the radiate and energy balance of a building located in the Adrar region, Recueil de Mecanique Vol.1, n°002, 2016, pp.079-087.
- [15] F. Chabane, Modélisation des paramètres de conversion thermique de l'énergie solaire, thèse de doctorat de l'université de Mohammed Khidre-Biskra en Algérie, 2015.
- [16] A. Kaddour, Modélisation et simulation d'un concentrateur parabolique solaire à moteur Stirling en vue d'un rendement optimal, thèse de doctorat de l'université d'Abou-bekr Belkaid-Tlemcen en Algérie, 2013.
- [17] A. Moumni, estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra, 8ème Séminaire International sur la Physique Energétique, Centre Universitaire de Béchar–Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.
- [18] M.R Yaïche, Estimation du rayonnement solaire global en Algérie pour différents types de ciel, Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°4, 2010, pp. 683 – 695.