

Etude et calcul de bilan de la densité du flux solaire pour un simple habitat dans la région d'Adrar

Abdellatif Oudrane ^{1,2*}, Benaoumeur Aour ², Belkacem Zeghmati ³,
Xavier Chesneau ³ et Messaoud Hamouda ⁴

¹ Centre Universitaire Ahmed Ben Yahia El Wancharissi de Tissemsilt
Route de Bougra, Ben Hamouda, 38004 Tissemsilt, Algérie

² Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux, LABA
B.P. 1523 El Mnaour, ENP Oran, 31000, Oran, Algérie

³ Laboratoire de Mathématiques et de Physique,
Groupe de Mécanique Energétique, LAMPS
Université de Perpignan Via Domitia, 52, Avenue Paul Alduy, 66860 Perpignan cedex(France)

⁴ Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URERMS
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 478, Route de Reggane, Adrar, Algérie

(reçu le 12 Décembre 2016 - accepté le 20 Janvier 2017)

Résumé: *L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'effet des conditions climatiques externes, sur l'évolution de la densité du flux solaire journalier incident sur les parois verticales d'un bâtiment situé dans la région d'Adrar au Sud de l'Algérie avec différent orientation. Ce bâtiment est conçu pour des applications de type chauffage ou climatisation. Les simulations numériques abordées dans ce travail ont permis de comparer la variation de la densité du flux solaire incident durant une journée complète sur les parois Sud, Est, Nord et Ouest du bâtiment aux valeurs du flux solaire global sur une paroi horizontale (le plafond externe). Le flux solaire global horizontal est calculé à l'aide d'une fonction Gaussienne sinusoïdale. Les simulations ont été effectuées dans le cas d'un bâtiment situé dans une zone désertique. Les résultats de la simulation numérique, ont montré l'effet de l'orientation du bâtiment sur l'évolution du flux solaire journalier incident.*

Abstract - *The main objective of this work is to study the effect of external climatic conditions on the evolution of the daily solar flux density incident on the vertical walls of a building located in the Adrar region in the South of Algeria with different orientation. This building is designed for heating or air conditioning applications. The numerical simulations discussed in this work allowed to compare the variation of the density of the incident solar flux during a full day on the south, east, north and west walls of the building to the values of the global solar flux on a horizontal wall (the external ceiling). The horizontal global solar flux is calculated using a Gaussian sinusoidal function. The simulations were carried out in the case of a building located in a desert zone. The results of the numerical simulation showed the effect of the orientation of the building on the evolution of the incident daily solar flux.*

Mots clés: Densité du flux solaire - Adrar - Chauffage - Climatique - Désertique - Bâtiment.

1. INTRODUCTION

L'utilisation de l'énergie solaire dans les pays ensoleillés, est un outil efficace pour compenser le manque d'énergie. L'intérêt d'une telle énergie n'est pas seulement économique mais également environnemental car la pollution est devenue un problème majeur auquel il faut trouver des solutions [1].

La connaissance du potentiel énergétique solaire en un site donné est un paramètre important pour les concepteurs des systèmes à énergie solaire. L'évaluation à long

* abdellatif.habadat@gmail.com

terme des performances des systèmes de conversion de l'énergie solaire s'établit à l'aide de programmes de simulation numérique.

En Algérie, les logiciels de dimensionnement des installations photovoltaïques et 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].

Le dimensionnement et la gestion optimale des systèmes énergétiques passent impérativement par la connaissance des conditions météorologiques pour lesquelles des études poussées sont effectuées dans plusieurs régions du monde pour évaluer et modéliser le potentiel solaire.

La première étape consiste à déterminer les différents paramètres astronomiques, et plus précisément la position exacte du soleil quel que soit le moment de l'année. Avant toute chose, il est nécessaire de définir les deux concepts indispensables afin de situer un lieu dans le monde: la latitude et la longitude [3].

Il nous a paru utile dans un deuxième temps d'étudier la modélisation théorique du flux solaire qui a permis d'effectuer une étude comparative entre les différentes journées dans la saison. La détermination du flux solaire incident sur les parois pour différentes orientations d'un bâtiment destiné au chauffage dans cette région désertique a été étudiée en analysant l'effet des conditions climatiques de la région sur l'évolution du flux solaire. Des résultats seront présentés en vue d'un bon dimensionnement et une orientation optimum d'un bâtiment muni d'une installation de chauffage solaire.

Dans ce travail, on présente quelques notions fondamentales d'astronomie qui donnent des informations sur le rayonnement reçu par le sol (diffus, direct et global). Les données nécessaires à l'établissement du bilan énergétique solaire (calculs du flux direct et diffus) sont obtenues en considérant une variation sinusoïdale de la température ambiante et du flux global reçu sur une paroi horizontale et en considérant les données réelles du flux solaire maximum et des températures minimum et maximum relevées pour les mois considérés sur le site d'Adrar.

2. DONNEES EXPERIMENTALES

Actuellement, en Algérie, la mesure des données du rayonnement solaire est effectuée d'une manière instantanée et sur certains sites de l'Algérie. Nous avons choisi le site d'Arar ($\phi = 27^{\circ}88'N$ et $\lambda = -0,27'E$) pour cette étude [4].

Le choix de ce site s'est fait du fait qu'Adrar est une ville très riche en énergie solaire, vu son taux d'ensoleillement moyen qui atteint environ $9963Wh/m^2.j$ [5]. Pour cette raison, nous avons choisi cette région afin de mettre au point un bâtiment muni d'une installation solaire avec un rendement maximale en jouant sur les conditions climatiques.

Les données du rayonnement solaire (le flux solaire ambiant moyen, la température ambiante moyenne) utilisées proviennent de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien d'Adrar, URERMS.

Table 1: Journée type

Mois	'j' de mois	Jour typique	'N' jour dans l'année
Juin	6		163
Juillet	7	17	198
Août	8		228

La modélisation est basée sur le concept du jour typique (**Tableau 1**). En effet, cette méthode du calcul du rayonnement solaire, proposée par Lui et Jordan, suppose qu'il existe dans chaque mois de l'année, une journée type ou 'jour moyen' mensuel. Dans le **Tableau 1**, nous donnons les numéros de quelques jours typiques dans l'année à compter du 1^{er} Janvier, afin de calculer la déclinaison du soleil dans le ciel et la correction du temps.

Table 2: Données climatiques de la région d'Adrar [4]

Année 2014	Novembre	Juin	Juillet	Août
Flux Max, W/m ²	753	1052	1051	1040
T _{max} , °C	30.8	42.2	47.8	47.7
T _{min} , °C	22.4	25.6	32.5	39.0
Durée du jour, h	11	14	14	13
Lever soleil, h	7	5	5	6
Coucher-soleil, h	18	19	19	19

3. MODELISATION MATHEMATIQUE

3.1 Description de la maison d'étude dans la région d'Adrar

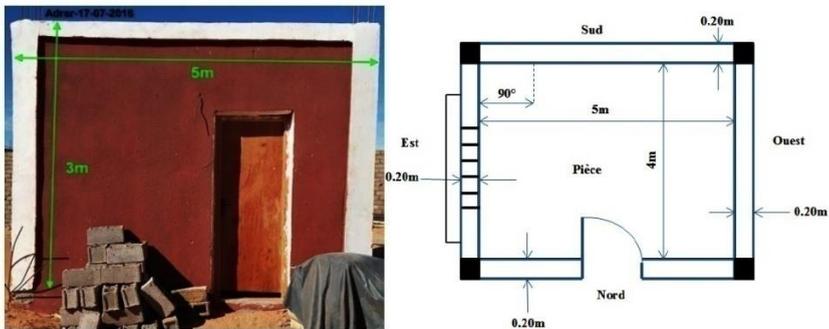


Fig. 1: Description de l'élément d'étude dans la région d'Adrar

3.2 Modélisation des paramètres géométriques et atmosphériques

3.2.1 Angle horaire

L'angle horaire ω (encore noté AH) du soleil est déterminé par la rotation diurne de la terre autour de son axe. C'est la mesure de l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. Exprimé en ° d'angle, par l'expression suivante [6, 7]:

$$\omega = 15 \times (\text{TSV} - 12) \quad (1)$$

Où, TSV est le temps solaire vrai, exprimé en heures.

3.2.2 Déclinaison solaire

La déclinaison du soleil δ est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre [6, 7]. La déclinaison varie de $-23^{\circ}27'$ au solstice d'hiver à $+23^{\circ}27'$ au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes. Sa valeur peut être calculée par la formule de Cooper (1969) [6, 7]:

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

où, J : Nombre de jours écoulés depuis le 1^{er} Janvier.

3.2.3 Hauteur du soleil

C'est l'angle (h) formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Il est donné par la relation [6, 8]:

$$\sin(h) = \sin(\phi) \times \sin(\delta) + \cos(\phi) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) \quad (3)$$

Où: ϕ , est la latitude du lieu en degré décimales, δ : la déclinaison soleil en degré et ω , est l'angle horaire du soleil en degré. De la hauteur (h), on peut déduire les heures de lever et de coucher du soleil. On trouve, en faisant $h = 0$, [9]:

$$\cos(\omega_0) = -\text{tg}(\phi) \times \text{tg}(\delta) \quad (4)$$

Et la durée astronomique du jour s'obtient tout aussi facilement en faisant [9]

$$D_0 = \frac{2}{15} \times \text{Arc cos}(-\text{tg}(\phi) \times \text{tg}(\delta)) \quad (5)$$

3.2.4 Azimut du soleil

C'est l'angle a compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale. L'origine des azimuts correspond à la direction du Sud dans l'hémisphère Nord.

L'angle d'azimut est compté positivement vers l'Ouest.

L'azimut est relié à l'angle horaire, la hauteur et la déclinaison par la relation [10]:

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \times \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (6)$$

3.2.5 Equation du temps

Pour calculer la hauteur du soleil et son azimut, l'équation du temps est nécessaire. Le midi solaire est le moment où le soleil est à sa hauteur maximale. A ce moment-là, il se positionne dans la direction Sud ou Nord, selon qu'on se trouve dans l'hémisphère Nord ou Sud. Le midi solaire diffère du midi local.

Cette différence est appelée équation du temps, elle varie en fonction du jour et de la longitude et est donnée par l'expression suivante [11]:

$$\text{Et} = 9.87 \times \sin\left(720 \times \left(\frac{J-81}{365}\right)\right) - 7.53 \times \cos\left(720 \times \left(\frac{J-81}{365}\right)\right) - 1.5 \times \sin\left(360 \times \left(\frac{J-81}{365}\right)\right) \quad (7)$$

3.2.6 Temps solaire vrai

C'est le temps solaire local corrigé de l'équation du temps, donnée astronomique universelle liée à l'excentricité de l'orbite de la terre autour du soleil [11]:

$$\text{TSV} = \text{TLG} - \text{DEH} + (\text{Et} / 60) + (\lambda / 15) \quad (8)$$

avec, DEH, le décalage horaire, égale à 1 h pour l'Algérie

TLG, le temps local en heures.

3.3 Modélisation du rayonnement solaire incident sur un plan quelconque par ciel clair

3.3.1 Angle d'incidence

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. L'orientation du plan est définie par [12]:

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

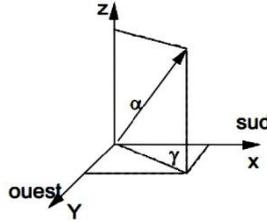


Fig. 2: Azimut (orientation) et inclinaison d'un plan quelconque [10]

L'angle d'incidence (θ) est l'angle entre la direction du soleil et la normale du plan. Cet angle est déterminé par la connaissance des cosinus directeurs du rayon incident et la normale. En coordonnées horaires [4, 12]:

$$\cos(\theta) = \sin(\delta) \times \sin(\phi) \times \cos(\beta) - \sin(\delta) \times \cos(\phi) \times \sin(\beta) \times \cos(\gamma) + \cos(\delta) \times \cos(\phi) \times \cos(\beta) \times \cos(\delta) \times \sin(\phi) \times \sin(\beta) \times \cos(\gamma) \times \cos(\omega) + \cos(\delta) \times \sin(\beta) \times \sin(\gamma) \times \sin(\omega) \quad (9)$$

Où on peut citer:

$$\cos(\theta) = k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5$$

Or,

$$k_1 = \sin(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\beta)$$

$$k_2 = -\sin(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma)$$

$$k_3 = \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\omega)$$

$$k_4 = \cos(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma)$$

$$k_5 = \cos(\delta) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) \cdot \cos(\omega)$$

Ces coefficients sont déterminés pour chaque paroi verticale et sont reportés dans le **Table 3**.

Table 3: Cosinus des angles d'incidence des flux solaires sur le parois exposées de l'habitat

Orientation de la paroi et k_i	
Sud	$k_1=0.0$; $k_2=-\sin(\delta) \cdot \cos(\phi)$; $k_3=0.0$; $k_4=0.0$; $k_5=\cos(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\omega)$
Est	$k_1=0.0$; $k_2=0.0$; $k_3=0.0$; $k_4=-\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)$; $k_5=0.0$
Ouest	$k_1=0.0$; $k_2=0.0$; $k_3=0.0$; $k_4=\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)$; $k_5=0.0$
Nord	$k_1=0.0$; $k_2=\sin(\delta) \cdot \cos(\phi)$; $k_3=0.0$; $k_4=0.0$; $k_5=-\cos(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\omega)$

3.3.2 Calcul du rayonnement pour un plan d'inclinaison quelconque

3.3.2.1 Calcul par ciel clair sur un plan horizontal

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

- Le rayonnement direct (I) où (RDIRH) (éclairage corrigé des phénomènes atmosphériques)
- Le rayonnement diffus (D) où (RDIFH) en provenance de toute la voûte céleste.



Fig. 3: Les trois différents types de rayonnement solaire

Nous aurons donc sur un plan horizontal , [9, 13]

$$G_h = I \times \sin(h) + D_h = I_h + D_h \quad (10)$$

3.3.3 Calcul du rayonnement diffus pour un plan horizontal

Le rayonnement diffus pour une surface horizontale est donné par l'expression [8]:

$$D_h = \text{RDIFH} = 120 \times \Gamma \times \text{Exp}\left(\frac{1}{0.4511 \times \sin(h)}\right) \quad (11)$$

$$\Gamma = 0.796 - 0.01 \times \sin(360 / 365 \times (J + 284)) \quad (12)$$

Où, Γ est la nubulosité.

3.3.4 Calcul du rayonnement pour un plan incliné

Dans la pratique, le rayonnement solaire global sur un plan incliné s'exprime sous la forme suivante [14, 15]:

$$G_i = I_h \times R_b + D_h \times \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right) + \rho \times \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right) \quad (13)$$

ρ : Le coefficient de réflexion du sol ou albédo, varie selon la nature du sol, et dont la valeur moyenne est estimée à $\rho = 0.25$;

R_b : Le facteur géométrique $R_b \geq 0$. C'est le ratio entre l'angle d'incidence des rayonnements solaires sur la paroi inclinée et le cosinus de l'angle zénithal est $\cos(\theta_z)$.

$$R_b = \cos(\theta) / \cos(\theta_z) \quad (14)$$

$$\cos(\theta_z) = \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \quad (15)$$

4. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.1 Conditions météorologiques

La figure 4 représente l'évolution de la température ambiante extérieure de la ville d'Adrar située au sud de l'Algérie. On remarque que l'évolution de la température extérieure possède un comportement parabolique. On remarque aussi que l'amplitude

thermique de la période diurne pour le jour type de chaque mois considéré 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 solaire, par contre le pic de la température d'ambiante au mois d'Août est enregistré à 11 heures solaire. Ce décalage entre les deux pics est dû au fait que la durée du jour pour le mois de Août est moins importante que pour Juin et Juillet.

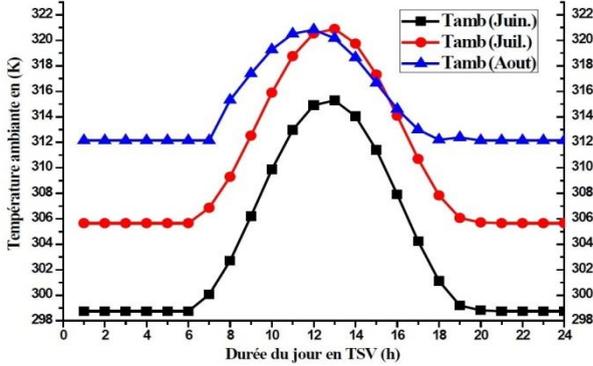


Fig. 4: Evolution de la température ambiante extérieure pour le jour type du mois (ville d'Adrar)

Les figures 6 représentent l'évolution de la densité du flux solaire incident sur les parois les plus ensoleillées (Est, Ouest, Sud et Plafond).

Pour toutes les parois, pendant la période nocturne, le flux solaire incident est nul. Pendant la période diurne, il évolue dans le sens croissant, puisqu'il passe par un maximum vers midi solaire (figure 6 c, d)), enfin il décroît jusqu'à devenir nul.

Mais ce qui diffère d'une paroi à une autre, c'est la valeur maximale et l'instant correspondant, qui varient selon l'orientation de chaque paroi.

Les densités reçues sur les parois Est (figure 5a) et Ouest (figure 5b) sont symétriques, l'une par rapport à l'autre. Pour un mois donné, le flux est maximum le matin sur la paroi Est (figure 5a), à midi sur la paroi Sud (figure 6c) et l'après-midi sur la paroi Ouest (figure 5a).

A midi, le flux solaire incident est identique sur les deux parois, mais les valeurs maximales diffèrent d'un mois à un autre. Pour la paroi sud et le plafond (figure 6d), la densité de flux solaire incident représente une symétrie par rapport à midi TSV.

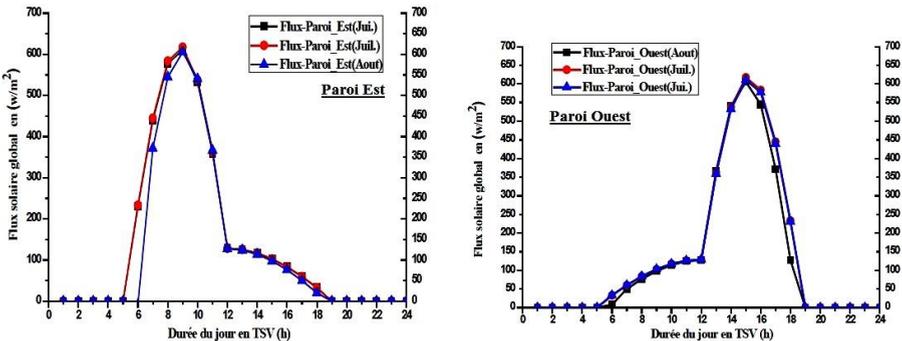


Fig. 5: Evolution de la densité de flux solaire incident sur les parois Est et Ouest

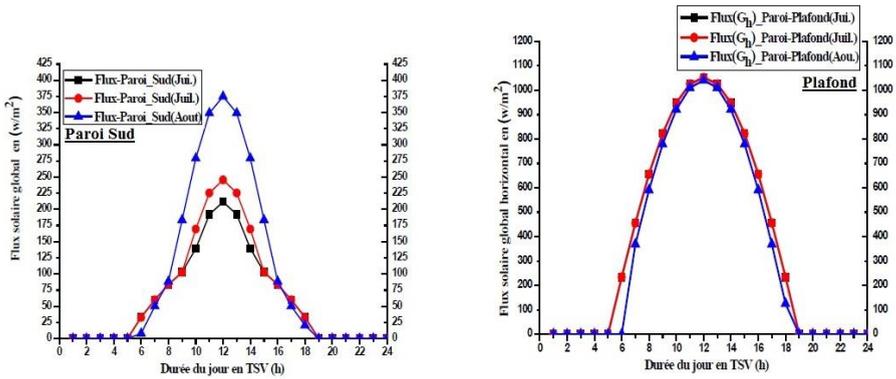


Fig. 6: Evolution de la densité de flux solaire incident sur la paroi Sud et le plafond

4.2 Evolution du flux solaire au mois de Juillet

4.2.1 Evolution de la température ambiante extérieure

La figure 7 représente l'évolution de la température moyenne de l'air extérieur en fonction de l'heure pour le mois de Juillet. La température extérieure du bâtiment à midi solaire est visiblement plus élevée que celle des périodes avant midi et après midi et surtout plus élevée par rapport à la période nocturne.

Cette différence est due à l'effet du soleil durant une journée dans la saison d'été qui permet l'augmentation de la température jusqu'à 47°C vers 12 heures.

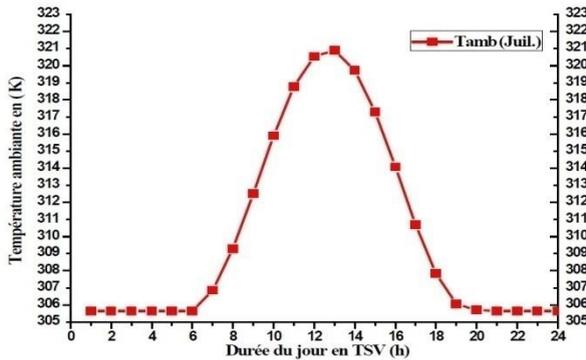


Fig. 7: Evolution de la température moyenne de l'air extérieur en fonction de l'heure

4.2.2 Evolution du flux solaire incident sur les parois du bâtiment

La figure 8 donne les variations instantanées des flux solaires incidents sur les parois du bâtiment pour différentes orientations. Cette évolution temporelle des flux solaires est calculée durant la journée du 17 Juillet 2014.

On constate que l'évolution du flux solaire incident sur les parois, est lié totalement avec l'orientation de chaque paroi de l'enceinte habitable ainsi qu'avec la position du soleil dans la journée.

5. CONCLUSION

Ce travail a permis d'étudier l'évolution des flux solaires journaliers incidents sur les parois d'une enceinte habitable située dans la région d'Adrar en fonction de la variation des conditions climatiques réelles de cette zone désertique, et aussi en fonction

des différentes orientations possibles des parois. L'influence des conditions météorologique telle que la température ambiante extérieure, le flux solaire et l'orientation des parois sur l'évolution du flux solaire global horizontal et incident ont été étudié et analysé.

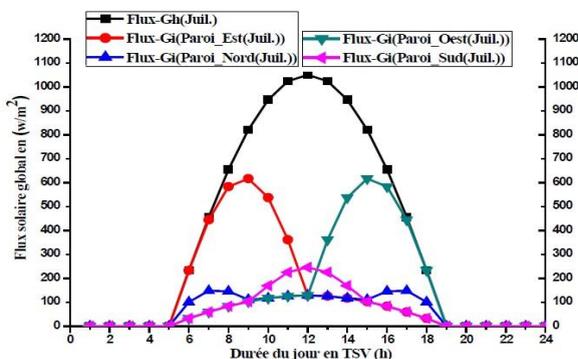


Fig. 8: Flux solaires incidents pour différentes orientations, Adrar

Les résultats ont principalement montrés que la température extérieure a une variation importante suivant les mois choisis. De plus, on a constaté que l'orientation de la structure de l'enceinte habitable doit être aussi à prendre en compte pour optimiser la captation des rayonnements solaires.

Ainsi, cette orientation doit être plein sud d'une manière idéale pour avoir un maximum de 400 W/m^2 vers midi solaire et un maximum de 650 W/m^2 avant midi pour une orientation vers l'Est et la même valeur l'après-midi pour une orientation vers l'ouest. Toutefois, il faut tenir compte des obstacles environnants.

Finalement, pour l'exploitation de cette énergies non polluante et inépuisable dans la région d'Adrar, on suggère l'utilisation de ce potentiel solaire dans la production du chauffage et la climatisation solaire à usage individuel et collectif, et même pour la production de l'eau chaude sanitaire dans une maison dans cette zone désertique en Algérie.

RECONNAISSANCE

Je tiens à remercier les professeurs B. Aour, B. Zeghmati, X. Chesneaux et H. Massaud d'avoir enrichi mes connaissances et guidé durant tout ce travail.

REFERENCES

- [1] M. Ghodbane, N. Moumami, B. Boumeddane, S. Largot and H. Berkane, 'Study and Numerical Simulation of Solar System for Air Heating', Journal of Fundamental and Applied Sciences, Vol. 8, N°1, 2016.
- [2] F. Yettou, A. Malek, M. Haddadi et A. Gama, 'Etude Comparative de Deux Modèles de Calcul du Rayonnement Solaire par Ciel Clair en Algérie', Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 pp. 331 – 346, 2009.
- [3] M. Hamdani, 'Etude et Modélisation du Potentiel Solaire Adéquat pour l'Estimation des Eclairéments Incidents à Ghardaïa', Revue Internationale d'Héliotechnique, N°43, pp. 8 - 13, 2011.

- [4] Technical Report, '*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. Ricaud, '*Gisement Solaire et Transferts Energétiques*', Master Energies Renouvelables, Université de Cergy-Pontoise, 2011.
- [7] A. Brahim, '*Etude de Performances d'un Capteur Solaire Plan à Eau*', Mémoire de Master 2, Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah (Alger), Février 2016.
- [8] Y. El Mghouchi, A. El Bouardi, Z. Choulli and T. Ajzoul, '*New Model to Estimate and Evaluate the Solar Radiation*', International Journal of Sustainable Built Environment, Vol. 3, N°2, pp. 225 - 234, 2014.
- [9] 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.
- [10] K. Kabidi, '*Expérimentation et Modélisation du Comportement Energétique 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, Maroc, Juillet 2014.
- [11] K. Kerkouche, F. Cherfa, A. Hadj Arab, S. Bouchakour, K Abdeladim et K. Bergheul, '*Evaluation de l'Irradiation Solaire Globale sur une Surface Incliné selon Différents Modèles pour le Site de Bouzaréah*', Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°2 pp. 269 - 284, 2013.
- [12] F. Chabane, '*Modélisation des Paramètres de Conversion Thermique de l'Energie Solaire*', Thèse de Doctorat, Université Mohammed Khider, Biskra, Algérie, 2015.
- [13] A. Kaddour, '*Modélisation et Simulation d'un Concentrateur Parabolique Solaire à Moteur Stirling en Vue d'un Rendement Optimal*', Thèse de Doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie, 2013.
- [14] A. Moumami, N. Hamani, N. Moumami et Z. Mokhtari, '*Estimation du Rayonnement Solaire par deux Approches Semi Empiriques dans le Site de Biskra*', 8^{ème} Séminaire International sur la Physique Energétique, Centre Universitaire de Béchar-Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.
- [15] M.R Yaïche et S.M.A. Bekkouche, '*Estimation du Rayonnement Solaire Global en Algérie pour Différents Types de Ciel*', Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°4 pp. 683 – 695, 2010.