



Research Paper

## MODELING THE RADIATE AND ENERGY BALANCE OF A BUILDING LOCATED IN THE ADRAR REGION

Modélisation du bilan radiatif et d'énergie d'un habitat situé dans la région d'ADRAR

**OUDRANE Abdellatif<sup>a,b,c</sup>, ZEGHMATI Belkacem<sup>c</sup>, CHESNEOU Xavier<sup>c</sup>, AOUR Benaoumeur<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Centre universitaire El-Wancharissi de Tissemsilt, Route de BOUGRA Ben Hamouda, 38004, Tissemsilt, (Algérie).

<sup>b</sup>Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB), BP 1523 El Mnaour, ENP, 31000, Oran, (Algérie).

<sup>c</sup>Laboratoire de Mathématiques et de Physique Groupe de Mécanique Énergétique (LAMPS), Université de Perpignan Via Domitia, 52, Avenue Paul Alduy, 66860 Perpignan cedex (France).

### ARTICLE INFO

Article history:

Received 05 January 17

Received in revised form 05 February 17

Accepted 07 February 17

Keywords:

Solar flow, ADRAR, heating, Liu and Jordan model.

Mots clés:

Flux solaire; ADRAR; chauffage modèle de Liu et Jordan.

### ABSTRACT

In this paper, we study the effect of temperature and external solar flow on the evolution of daily solar radiation incidental on the walls of a building located in the ADRAR region of Algeria. The numerical simulations made it possible to compare the evolution of solar flow during a full day on the walls of the heating South, East, North and West starting from the values of the global solar flow of a horizontal wall (the outer ceiling). This global horizontal solar flow is computed by a sinusoidal Gauss function. The equations of direct horizontal solar flow calculation, horizontal diffuse flow, direct inclined, diffuse inclined and the global solar flow on a wall sloping, have been solved numerically using the nodal method in a one-dimensional case. This modeling is based on the model of Liu and Jordan. The simulations were carried out in the case of a desert zone building. The results showed the effect of external conditions such as the ambient temperature and the angle of the day on the daily evolution of the incident solar flow on the various orientations of the walls of the building.

### RÉSUMÉ

Nous avons étudié dans ce travail, l'effet des conditions de la température et du flux solaire externe, sur l'évolution du flux solaire journalier incident sur les parois d'un habitat situé dans la région d'ADRAR en Algérie. Les simulations numériques ont permis de comparer l'évolution de flux solaire durant une journée complète sur les parois de l'habitat Sud, Est, Nord et Ouest partant des valeurs du flux solaire global d'une paroi horizontale (le plafond externe). Ce flux solaire global horizontal est calculé par une fonction sinusoïdale de Gauss. Les équations du calcul de flux solaire direct horizontal, flux diffus horizontal, direct incliné, diffus incliné et le flux solaire global pour une paroi inclinée ont été résolus numériquement à l'aide de la méthode nodale dans un cas monodimensionnel. Cette modélisation est basée sur le modèle de Liu et Jordan. Les simulations ont été effectuées dans le cas d'un habitat de zone désertique. Les résultats ont montré l'effet des conditions externes telles que la température d'ambient et l'angle du jour sur l'évolution journalière du flux solaire incident sur les différentes orientations des parois de l'habitat.

\* Corresponding author. Tel.: +213662830459.

E-mail address: abdellatif.habadat@gmail.com

## 1. Introduction

La connaissance du potentiel énergétique solaire en un site donné est un paramètre important pour les concepteurs des systèmes de l'énergie solaire. L'évaluation à long terme des performances des systèmes de conversion de l'énergie solaire s'établit par l'intermédiaire 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 [1]. Le dimensionnement et la gestion optimale des systèmes énergétiques passent impérativement par la connaissance des conditions météorologiques auxquelles 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 [2]. 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. Une détermination de flux solaire incident sur les différentes orientations des parois d'un habitat destiné pour le chauffage dans cette région désertique a été étudiée en analysant l'effet des conditions climatiques de la région sur l'évolution de flux solaire.

Dans ce travail, on précède sur 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 (les calculs du flux direct et diffus et le calcul du flux global) d'un lieu déterminé sont obtenues par des méthodes numériques. Finalement, on va estimer le flux solaire sur une paroi horizontal et incliné par modélisation selon des modèles approchés de Liu et Jordan dans le site d'ADRAR. Or ce modèle a des erreurs non négligeables pour certaines expositions, et pour certaines couvertures nuageuses [3].

## 2. Données expérimentales

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'ADRAR ( $\phi = 27^{\circ},88' N$  et  $\lambda = -0,27' E$ ) pour cette étude [4].

Le choix de ce site est appuyé par le taux d'ensoleillement de la ville d'Adrar qui atteint les  $9963 \text{Wh/m}^2 \cdot \text{j}$ . Pour cette logique, nous avons privilégié cette région afin de mettre au point un habitat muni d'une installation solaire avec un rendement maximale en jouant sur les conditions climatiques externes.

Les données climatiques et géographiques (le flux solaire ambiant moyen, la température ambiante moyenne, la latitude et la longitude) utilisées proviennent de L'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien d'ADRAR "URERMS" [4].

Tab.1 - Journée type

Mois	Jour type	Jour dans l'année
Novembre	14	318
Décembre	10	344
Janvier	17	17
Juin	12	163
Juillet	17	198
Aout	16	228

Tab.2- Les données climatiques de la région d'ADRAR [4]

Année 2014	Novembre	Décembre	Janvier	Juin	Juillet	Aout
Flux_Max ( $\text{W/m}^2$ )	753	633	727	1052	1051	1040
TMax ( $^{\circ}\text{C}$ )	30.8	16.2	23.7	42.2	47.8	47.7
TMin ( $^{\circ}\text{C}$ )	22.4	7.2	16.3	25.6	32.5	39.0
Durée du jour (h)	11	10	11	14	14	13
Lever du soleil (h)	7	7	7	5	5	6
Coucher du soleil (h)	18	18	17	19	19	19

### 3. Modélisation mathématique

#### 3.1. Modélisation des paramètres géométriques et atmosphériques

##### 3.1.1. Angle horaire

L'angle horaire  $\omega$  (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 [5] :

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

Où :

TSV : Le temps solaire vrai est exprimé en heures.

##### 3.1.2. Déclinaison solaire

La déclinaison du soleil  $\delta$  est l'angle que fait, la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre [6]. 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 [7]. Sa valeur peut être calculée par la formule de Cooper (1969):

$$\delta = 23.45^{\circ} \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (J - 284)\right) \quad (2)$$

Où:

J : Nombre de jours écoulés depuis le 1<sup>er</sup> Janvier.

##### 3.1.3. 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 [5] :

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

Où:

$\varphi$  : Latitude de lieu en degré décimales.

$\delta$  : La déclinaison soleil en degré.

$\omega$  : L'angle horaire du soleil en degré.

De la hauteur  $h$ , on peut déduire les heures de lever et de coucher de soleil. On trouve, en faisant  $h = 0$ :

$$\cos(\omega_0) = -\operatorname{tg}(\varphi) \times \operatorname{tg}(\delta) \quad (4)$$

Et la durée astronomique du jour s'obtient tout aussi facilement en faisant:

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

##### 3.1.4. 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 [5]:

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

##### 3.1.5. Équation 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, et elle varie en fonction du jour et de la longitude est donnée par l'expression suivante [8]:

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

### 3.1.6. 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 [9]:

$$TSV = TLG - DEH + \left(\frac{Et}{60}\right) + \left(\frac{\lambda}{15}\right) \quad (8)$$

Où :

*DEH* : Le décalage horaire, égale 1h pour l'Algérie.

*TLG* : Le temps local en heures.

## 3.2. Modélisation du flux solaire incident sur un plan quelconque par ciel clair

### 3.2.1. Angle d'incidence

Dans les applications solaires la question est donc de calculer l'angle ( $\theta$ ) entre un rayon arrivant directement du soleil et la normale à un plan quelconque. L'orientation du plan est définie par [10]:

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

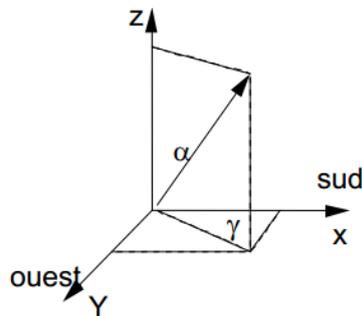


Fig.1- Azimut (orientation) et inclinaison d'un quelconque [10].

L'angle d'incidence ( $\theta$ ) est l'angle entre la direction du soleil et la normale du plan. Cet angle est déterminé par la connaissance des cosinus directeurs du flux incident et la normale. En coordonnées horaires, cet angle est exprimé par l'expression suivante [10]:

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(\delta) \times \sin(\varphi) \times \cos(\beta) - \sin(\delta) \times \cos(\varphi) \times \sin(\beta) \times \cos(\gamma) \\ & + \cos(\delta) \times \cos(\varphi) \times \cos(\beta) \times \cos(\omega) + \cos(\delta) \times \sin(\varphi) \times \sin(\beta) \\ & \times \cos(\gamma) \times \cos(\omega) + \cos(\delta) \times \sin(\beta) \times \sin(\gamma) \times \sin(\omega) \end{aligned} \quad (9)$$

Où bien:

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

Or:

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

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

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

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

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

Ces coefficients sont déterminés pour chaque paroi verticale et sont rapportés dans le Tab.3

Tab.3- Les cosinus des angles d'incidents des flux solaires sur les parois exposées de l'habitat

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

3.2.2. Calcul du flux solaire pour un plan d'inclinaison quelconque

3.2.3. Calcul par ciel clair sur un plan horizontal

Le flux global RGH reçu par un plan horizontal se décompose en deux termes :

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

Nous aurons donc sur un plan horizontal [11]:

$$G_h = I \times \sin(h) + D_h = I_h + D_h \tag{10}$$

3.2.4. Calcul du flux solaire diffus pour un plan horizontal

Le flux diffus par une surface horizontale est donné par l'expression [12]:

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

$$\Gamma = 0.796 - 0.01 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (J + 284)\right) \quad (12)$$

Où :

$\Gamma$  : Le facteur des troubles de ciel.

### 3.2.5. Calcul du flux solaire pour un plan incliné par le modèle de Liu et Jordan

Dans la pratique, il est plus convenable de déterminer le flux solaire global sur un plan incliné par le modèle de *Liu et Jordan* généralisée sous la forme suivante [13] :

$$G_i = I_h \times R_b + D_h \times \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right) + \rho \times G_h \times \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right) \quad (12)$$

Où :

$\rho$  : Le coefficient de réflexion du sol ou albédo qui 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 flux solaires sur la paroi incliné et le cosinus de l'angle zénithal  $\cos(\theta_z)$  est vaut :

$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} = \frac{\cos(\theta)}{\sin(h)} \quad (13)$$

## 4. Résultats et interprétations

### 4.1.1. Conditions météorologiques

La fig.2 représente l'évolution de la température d'ambiante extérieure de la ville d'Adrar située au sud l'Algérie. On remarque que l'évolution de la température extérieure possède un comportement cyclique. On remarque aussi que l'amplitude thermique entre la période diurne et la période nocturne dans le jour type de chaque mois considéré est sensible.

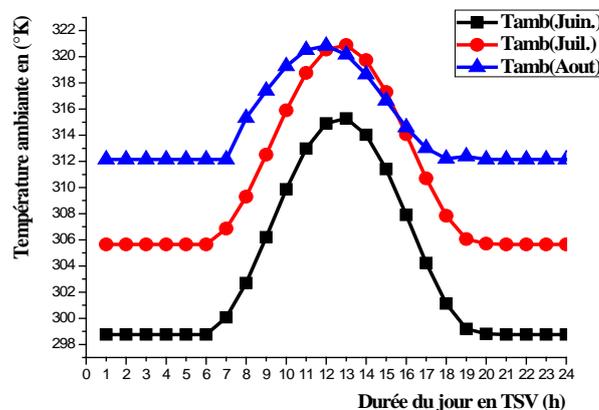


Fig.2- Evolution de la température de l'ambiante extérieure (ville d'Adrar).

Les figs.3 et 4 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 un sens croissant, puis il passe par un maximum, 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 et Ouest sont symétriques, l'une par rapport à l'autre. Pour un mois donné, le flux est maximum le matin sur la paroi Est, à midi sur la paroi Sud et l'après-midi sur la paroi Ouest. 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, la densité de flux solaire incident représente une symétrie par rapport à midi TSV.

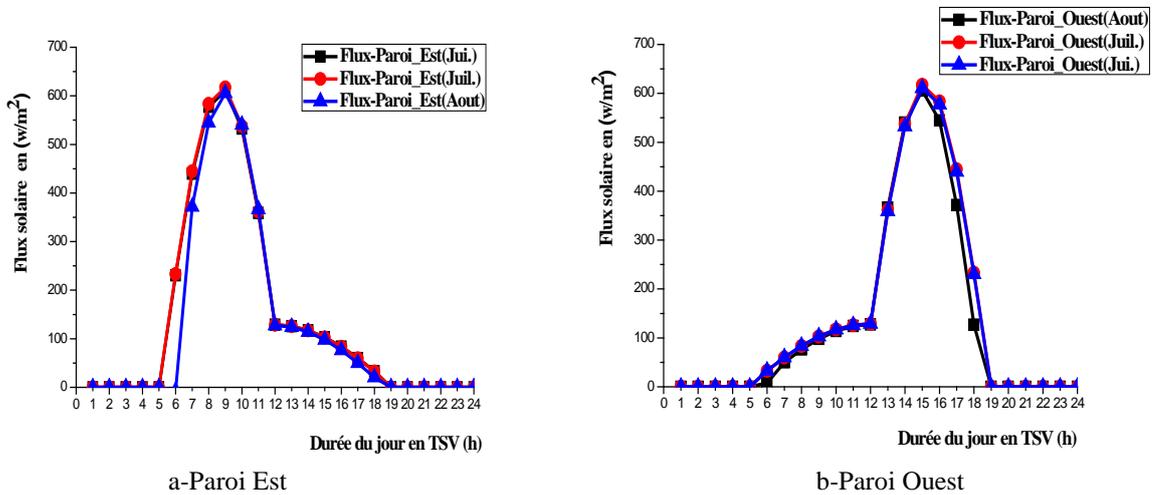


Fig. 3- Evolution de la densité de flux solaire incident sur les parois Est et Ouest.

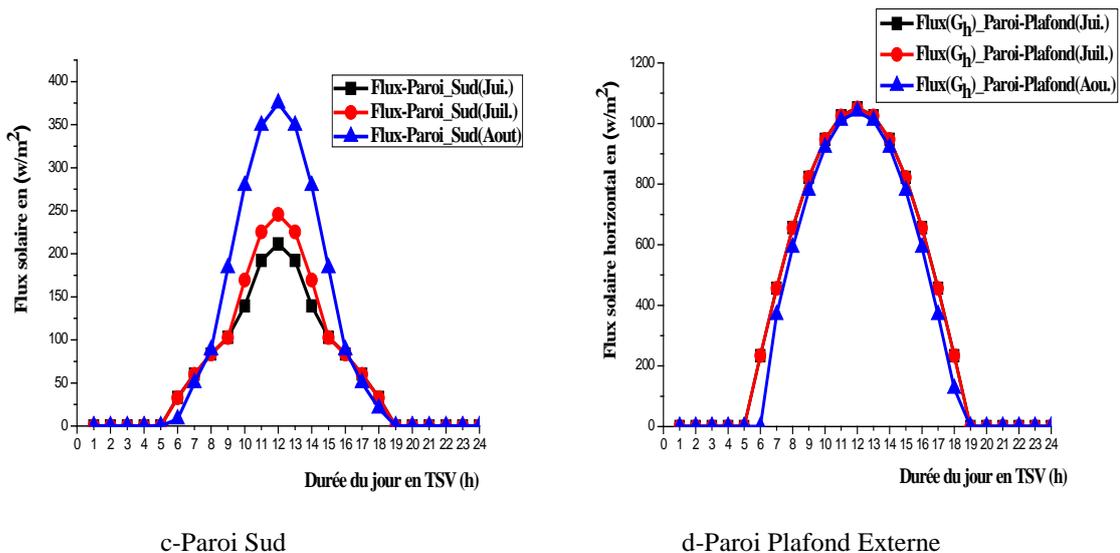


Fig. 4- Evolution de la densité de flux solaire incident sur la face Sud et le plafond.

#### 4.1.2. Cas d'étude d'évolution du flux solaire au mois de juillet

#### 4.1.3. Évolution de la température d'ambiante extérieure

La fig.5 représente l'évolution de la température moyenne de l'air extérieur en fonction de l'heure pendant les mois de juillet. La température extérieure de l'habitat à midi solaire est visiblement plus grande que celle de la période avant midi et après midi et surtout plus grand par apport de la période nocturne. Cette différence qui est due à l'effet de la course du soleil durant la journée dans la saison d'été peut atteindre 15 °C vers 12 heures.

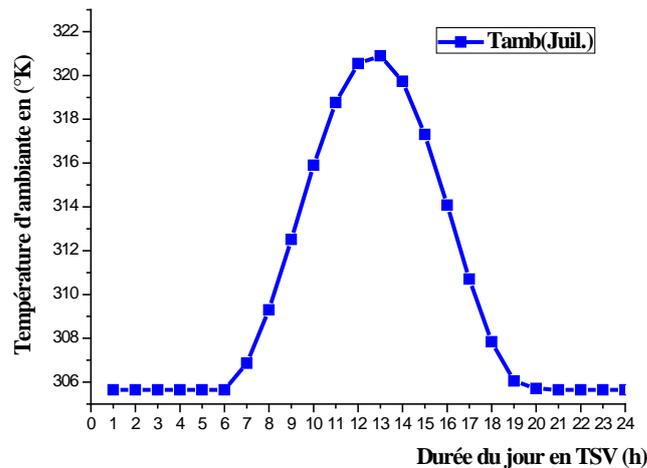


Fig. 5- Evolution de la température moyenne de l'air extérieur en fonction de l'heure.

#### 4.1.4. Evolution de flux solaire incident sur les parois de l'habitat

La fig.6 donne les variations instantanées des flux solaires incidents sur les parois de l'habitat pour différentes orientations. Cette évolution temporelle des flux solaires est calculée durant la journée du 17 Juillet 2014 sur par le modèle semi empirique de Liu et Jordan.

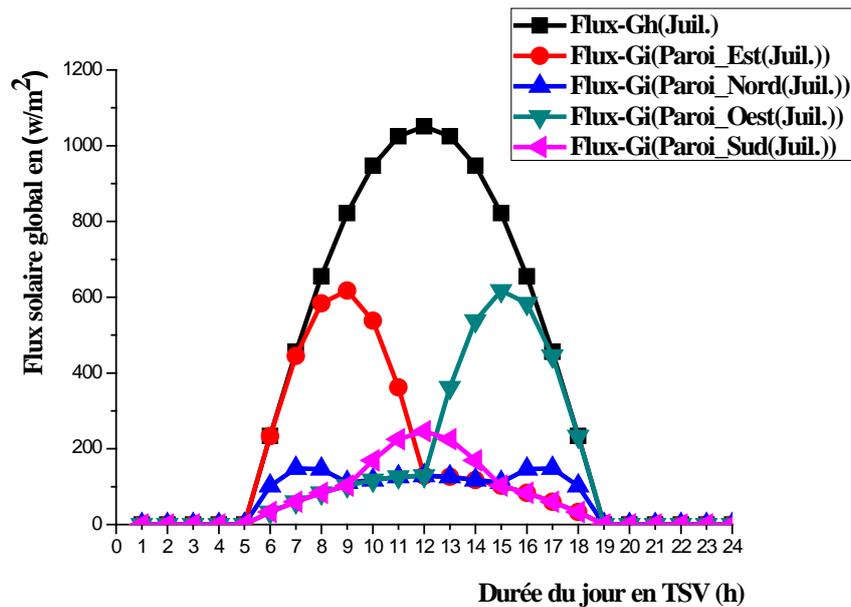


Fig.6 - Flux solaires incidents pour différentes orientations. Adrar17 juillet2014.

## 5. Conclusion

Ce travail a permis d'étudier l'évolution du flux solaire incidents sur les parois d'un habitat situé dans la région d'Adrar compte tenu des conditions climatiques réelles de cette zone désertique. L'influence des conditions météorologiques comme la température extérieure et l'orientation des parois sur le l'évolution des flux solaire a été étudié et analysé. Les résultats ont principalement montré que la température extérieure de l'ambiante de l'habitat a une variation brutale d'une saison à l'autre. Bien que, l'orientation de la structure de l'habitat doit être aussi prise en considération pour pouvoir augmenter le rayonnement solaire reçu. Cependant, cette orientation doit être plein sud d'une manière idéale et doit tenir compte des masques environnants.

## Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps, toute l'équipe du Laboratoire de Mathématiques et de Physique Groupe de Mécanique Énergétique (LAMPS) et le professeur Aour BENAOUMEUR le directeur de le Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB). Mes remerciements vont également au professeur Zeghamati BELKACEM pour l'aide et les conseils, qu'il m'a apporté lors des différents suivis. Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance au professeur Chesneou XAVIER pour l'expérience numérique qu'il m'a donnée.

## REFERENCES

- [1] 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.
- [2] M. HAMDANI, étude et modélisation du potentiel solaire adéquat pour l'estimation des éclairagements incidents a Ghardaïa. *Revue internationale d'héliotechnique* n° 43 (2011) pp.8-13.
- [3] 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.
- [4] EnerMENA High Precision Meteorological Station of Research Unit for Renewable Energies in the Saharan Environment in ADRAR, Algeria, 2014.
- [5] Alain Ricaud Jan, Gisement solaire et transferts énergétiques, Université de CERGY-PONTOISE, 2011.
- [6] A. Khedim, L'Energie Solaire, Utilisation Thermique et Photovoltaïque, ANEP, 2005.
- [7] J.M. Chasseriau, Conversion Thermique du Rayonnement Solaire, Ed. Dunod, France, 1984.
- [8] A. M'Raoui, Etude statistique du rayonnement solaire à Alger. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 14 N°4 (2011) pp.637 – 648.
- [9] S. Benkaciali, Modélisation de l'irradiation solaire globale incidente sur un plan incliné. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 17 N°2 (2014) pp.245 – 252.
- [10] F. CHABANE, Modélisation des paramètres de conversion thermique de l'énergie solaire, thèse de doctorat, Université de Mohammed Khidre, Biskra, 2015.
- [11] 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 de Abou-bekr Belkaid, Tlemcen, 2013.
- [12] Y. El Mghouchi, New model to estimate and evaluate the solar radiation. *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol. 3 N°2 (2014) pp.225–234.
- [13] A. MOUMMI, Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra, 8ème Séminaire International sur la Physique Énergétique, Centre Universitaire de Béchar–Algérie, 11 et 12 Novembre 2006, recueil d'abstract page 81.