



## Contribution à l'évaluation du gisement solaire à Laghouat

M. MESRI, A.CHEKNANE, M. BOUGRINE

Département de Génie électrique

Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur, Université Amar Têlidji, Laghouat, Algérie

\*\*Corresponding author: [m.mesri@mail.lagh-univ.dz](mailto:m.mesri@mail.lagh-univ.dz)

**Résumé** - Ce travail porte sur l'étude et la simulation de méthodes semi empiriques d'évaluation du gisement solaire dans la wilaya de Laghouat en vue d'application à la conversion d'énergie solaire. Cette étude prend en charge d'une part, l'analyse de la structure temporelle du champ insolation au niveau de la ville de Laghouat, et d'autre part l'utilisation des modèles semi empiriques 'Bird et Hulstrom, Davies & Hay et Liu Jordan' permettant l'estimation des irradiations globales par ciel clair. Les modèles étudiés donnent beaucoup d'informations sur le gisement solaire local ainsi que des renseignements sur le climat de la région de Laghouat.

**Mot clés** - Durée d'insolation, gisement solaire, hauteur de soleil, modèles semi empiriques, rayonnement global.

## I. Introduction

La consommation mondiale d'énergie, qui était de l'ordre de 2 Gtep<sup>1</sup>/an vers 1950 (tep : tonnes équivalent pétrole devrait passer à 17 Gtep/an en 2030, alors qu'on assiste à un épuisement progressif des ressources fossiles. Il est donc nécessaire d'exploiter d'avantage d'autres sources d'énergie. Le rayonnement solaire en est une, offrant un fort potentiel. Le gisement solaire est l'ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire en un lieu donné et au cours d'une période donnée. Son étude représente le point de départ de toute investigation dans le domaine de l'énergie solaire pour simuler le dimensionnement et l'optimisation des systèmes utilisant l'énergie solaire, compte tenu des demandes en énergie à satisfaire. L'évaluation du gisement solaire peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Par ailleurs, au cours de ce dernier demi-siècle, diverses méthodes d'estimation et de simulation du rayonnement solaire ont paru dans la littérature. Grâce aux données fournies par ces techniques, des solutions pour dimensionner les systèmes de conversion solaire ont vu le jour [1-2]. Dans le présent article, afin d'évaluer les composantes du rayonnement solaire, nous avons adopté trois approches valables pour un ciel totalement clair, en l'occurrence, l'approche de Bird et Hulstrom, Davies and Hay et Lui & Jordan.

L'objectif attendu de notre étude est de relier les efforts investis dans le domaine de l'estimation du rayonnement solaire au sol et de ses composantes dans les sites radiométriques voisins, en l'occurrence, le site de Ghardaïa, aux résultats que promettent ces modèles d'évaluation. En effet, placée entre 830m d'altitude à l'ouest et 790 m d'altitude au nord, avec une latitude de 33°46' et une longitude de 2°56', la ville de Laghouat dispose d'une moyenne d'ensoleillement de 7 heures par jour, avec une énergie électrique de 6 kW/m<sup>2</sup> à une durée d'insolation de 2947,8 heures annuellement [3]. La mise en place d'une base de données est donc d'intérêt majeur.

Dans ce contexte, un programme de calcul des rayonnements pour n'importe quelle wilaya du territoire Algérien et particulièrement pour la région de Laghouat, a été conçu et développé. Il s'agit d'un code de calcul modulaire, écrit par le logiciel Matlab 7.8 susceptible d'effectuer en

fonction du numéro de jour et de l'année les opérations suivantes :

- Détermination des paramètres astronomiques du site (lever et coucher du soleil, déclinaison, hauteur du soleil et l'angle d'incidence).
- Calcul du facteur d'inclinaison du rayonnement direct désigné par R<sub>b</sub>.
- Calcul du facteur de trouble total de Linke désigné par (T).
- Calcul du Rayonnement direct, diffus et global sur un plan horizontal selon trois approches de modèles semi empiriques.

## II. Causes principales d'atténuation du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire au niveau du sol est formé principalement du rayonnement direct et du rayonnement diffus. Le rayonnement direct, le plus important, parvient directement de l'angle solide délimité par le disque solaire. Le rayonnement solaire diffus parvenant de toute la voûte céleste, dépend de sa composition et n'a pas d'orientation privilégiée. L'ensemble forme le rayonnement global, lequel est déterminé par trois groupes de facteurs : les relations géométriques entre le soleil et la surface de la terre, l'atténuation due à la traversée de l'atmosphère, et les facteurs topographiques.

### 1. Diffusion Selon la théorie de Rayleigh

La diffusion par les molécules est due aux particules sphériques de diamètre inférieur à 0.2  $\lambda$  ( $\lambda$  est la longueur d'onde de la radiation incidente). Le coefficient d'extinction dû à la diffusion moléculaire (ou diffusion de Rayleigh) est donné par

$$M_c = \beta \lambda^{-4} \quad (1)$$

Les valeurs de  $\beta$  et  $c$  dépendent de la nature des particules causant la diffusion. A l'encontre de l'effet d'absorption, la part du rayonnement solaire diffusé par les constituants de l'atmosphère (molécules et aérosols) n'est pas entièrement perdue. Elle est en partie récupérée au sol. Le rayonnement diffus est lui même décomposé en :

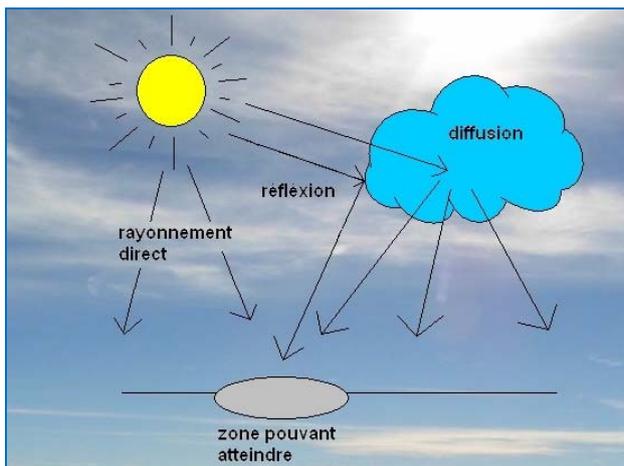
- Eclairage diffus par les aérosols.
- Eclairage après diffusion moléculaire.
- Eclairage diffus issu du phénomène de multi réflexion.

**2. Absorption**

Parmi les constituants qui absorbent d'une manière sensible le rayonnement solaire, l'ozone, la vapeur d'eau, l'oxygène et le gaz carbonique (Tableau 1). D'une façon générale, l'atténuation causée par les nuages est considérée de façon séparée, permettant de calculer le rayonnement sous ciel clair ou sous ciel nuageux, et éventuellement d'intégrer différentes sources de couverture nuageuse.

**Tableau 1:** Constituants de l'atmosphère et leur effet sur le rayonnement [5]

Constituants	Taille	Caractéristiques
<b>Molécules de gaz</b> (O2, CO2, O3, H2O)	1 Å°	Absorption élevée Diffusion faible
<b>Les aérosols</b>	10-3 à 10 <sup>2</sup> µm	Absorption faible Diffusion élevée
<b>Gouttelettes cristaux de nuages</b>	<b>Fraction de mm</b>	Absorption non négligeable Diffusion assez faible



**Fig.1.** Type de rayonnement reçu par le panneau solaire

**III. Modèles étudiés**

Nous avons jugé préférable de reporter l'estimation l'éclairement global sur un plan horizontal par la relation de LIU JORDAN généralisée. En effet, ce modèle, ne dépend que

de la latitude du lieu, l'ordre ou le numéro du jour de l'année et la hauteur de soleil [6]

$$S_n R_b + D_n \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (II)$$

On en déduit que :

L'irradiation directe sur plan incliné est :  $S_t = S_n R_b$  (IIa)

où  $R_b$  le facteur d'inclinaison du rayonnement direct est donné par :

$$R_b = \frac{\cos\delta \cos\omega \cos(L - \beta) + \sin\delta \sin(L - \beta)}{\cos\delta \cos\omega \cos L + \sin\delta \sin L} \quad (IIb)$$

$\delta$  : La déclinaison du soleil

$\omega$  : L'angle horaire

L: Latitude du lieu

$\beta$ : L'inclinaison du plan

L'irradiation diffuse sur plan incliné est :  $D_t = D_n \frac{1 + \cos\beta}{2}$  (II c)

D'autre part, l'irradiation réfléchie sur un plan incliné est :

$$d_{r_s} = \rho \cdot (S_n + d_n) \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (II d)$$

Le rayonnement direct

$$S_n = A \cdot \sinh \cdot \exp\left[\frac{-1}{C \sin(h+2)}\right] \quad (II e)$$

Et le rayonnement diffus :

$$d_n = B \cdot \sinh^{0.4} \quad (II f)$$

A et B sont des constantes qui tiennent compte de la nature du ciel. Les valeurs caractéristiques sont données dans le Tableau 2

**Tableau 2.** Constantes tenant compte de la nature du ciel [5]

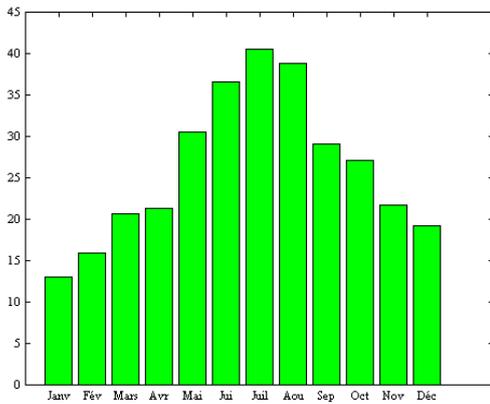
Nature du ciel	A	B	C
Ciel moyen	1230	125	4
Ciel très clair	1300	87	6
Ciel pollué	1200	187	5

**IV. Résultats obtenus et discussion**

Pour commencer, voici un tracé de certains paramètres dont la durée d'insolation mensuelle, la valeur moyenne de la température et de l'humidité de la région de Laghouat. Ces valeurs expérimentales nous ont été fournies au niveau de la station météorologique de la ville implantée sur la route d'el-KHNEG. Des

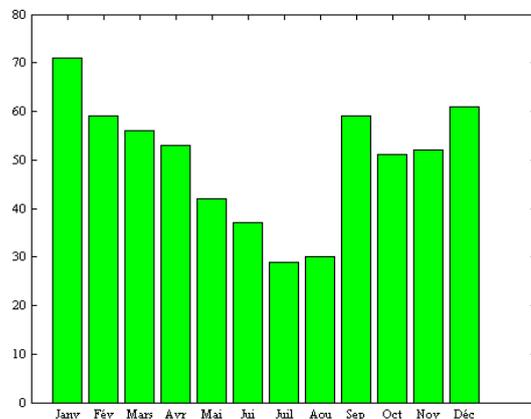
graphes représentatifs de certains paramètres calculés par notre logiciel sont aussi inclus, en l'occurrence, l'inclinaison et la hauteur du soleil ainsi que l'angle horaire. Etant que la région de Laghouat n'est pas dotée de station radiométrique permettant la comparaison avec des données expérimentales, dans le but de valider les résultats obtenus par les trois approches semi empiriques étudiées, ces derniers ont été confrontés -à des fins de comparaison-, aux valeurs du rayonnement solaire trouvés avec le logiciel de simulation PVSYST.

La figure 2 montre la température mensuelle moyenne pour l'année 2009. Nous remarquons que la température atteint son pic pour les mois d'Août et Juillet. La température moyenne est minimale pour le mois de Janvier (13°C).



**Fig.2.** Température mensuelle moyenne - Laghouat - (2009)

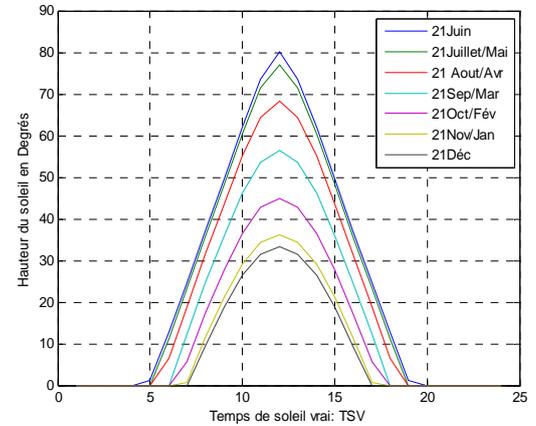
L'humidité atteint son maximum pour le mois de Janvier (Fig.3)



**Fig.3.** Humidité mensuelle moyenne Laghouat - (2009)

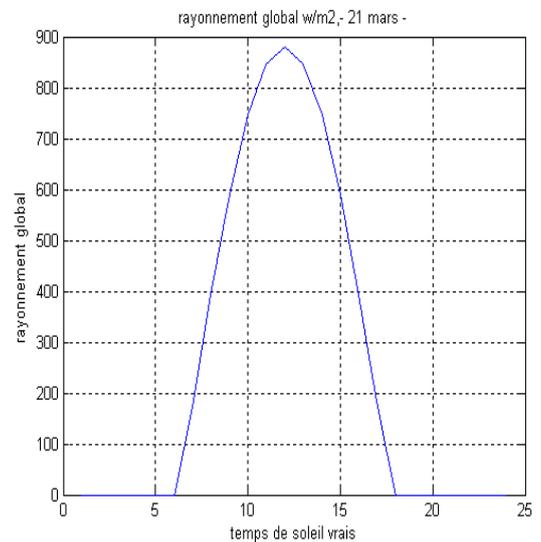
La figure 4 montre l'évolution de la déclinaison du soleil dans les jours :

21 Juillet/Mai, 21 Août/Avril, 21 Sep/Mars, 21 Oct/Fév, 21 Nov/Jan et 21 Déc.

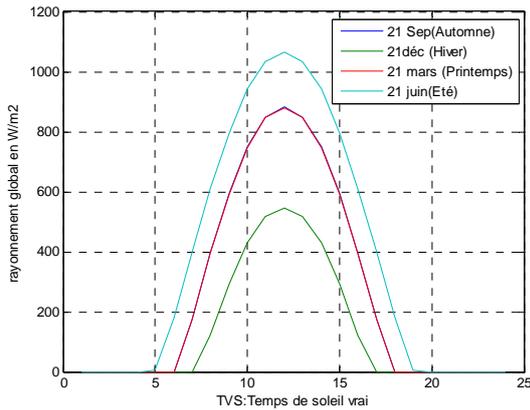


**Fig.4.** Déclinaison du Soleil

Les figures 5 et 6 montrent respectivement l'évolution du rayonnement global journalier sur un plan horizontal évalué du lever du soleil jusqu'à son coucher. Nous avons pensé aux journées du 21 Mars, le 21 Juin, le 21 Septembre et le 21 Décembre, périodes correspondant aux solstices et aux équinoxes.

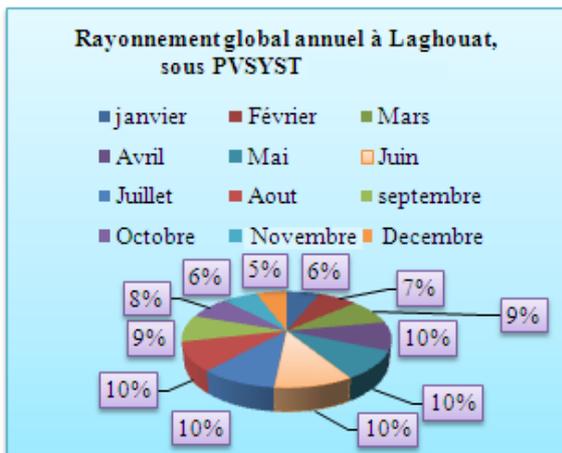


**Fig.5.** Rayonnement Global 21 Mars 2009

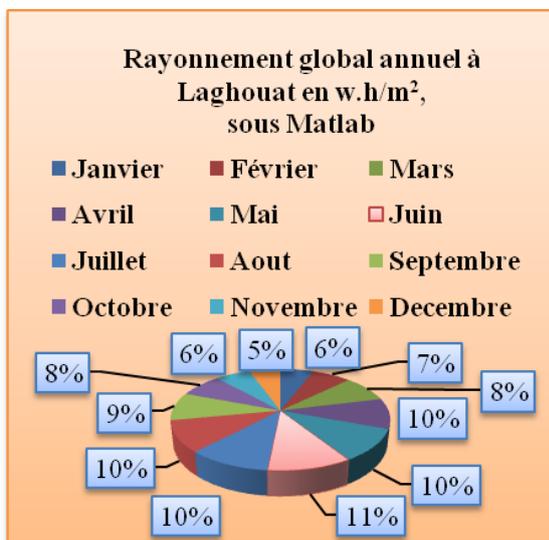


**Fig.6.** Rayonnement Global aux équinoxes et solstices

Les figures 7 et 8 représentent respectivement nos résultats calculés par notre simulation sous Matlab et en utilisant le logiciel PVSYS. Ces figures montrent un bon accord entre nos résultats et ceux de PVSYS.



**Fig.7.** Etude statistique des résultats obtenus



**Fig.8.** Etude statistique des résultats obtenus

L'analyse des figures ci dessus montre que le modèle de LIU JORDAN est plus proche des valeurs trouvées sous PV système, notamment au lever et au coucher du soleil. L'écart existant entre les modèles présentés vis-à-vis des valeurs trouvées sous le logiciel PV system est faible. De la sorte les méthodes basées sur les méthodes semi empiriques s'avèrent probantes pour permettre la simulation de l'éclairement solaire dans le site étudié.

### V. Conclusion

Un avantage attendu de notre étude est de relier les efforts investis dans le domaine de l'estimation du rayonnement solaire au sol dans les sites radiométriques voisins, afin de permettre de gérer l'exploitation rationnelle du gisement solaire et de répondre de façon intéressante à nos soucis de développement durables, aussi bien du point de vue environnemental que de celui de la sécurité d'approvisionnement. Ce travail propose trois approches semi empiriques de calcul du gisement solaire dans la région de Laghouat. A partir des modèles considérés on a pu calculer les trois composantes du rayonnement solaire ; direct, diffus et global dans les conditions du ciel clair. La comparaison entre les valeurs des rayonnements incidents sur un plan horizontal du capteur prévu par la simulation des trois approches et les mesures effectuées avec le logiciel PV système, montre que la simulation est une bonne approximation de la réalité. Notons que le modèle de LIU JORDAN est le plus fréquemment employé, puisqu'il permet d'évaluer la composante du rayonnement solaire sur des plans inclinés. Ceci est particulièrement intéressant pour notre équipe de chercheurs dans le processus de poursuite solaire à titre de perspectives du présent travail.

### VI. Références

[1] A. Adane, T. Ramdani and H. Mimouni. A stand alone photovoltaic system with adaptive sine wave inverter in Bejaïa, Algeria. Proc. Seventh World Renewable Energy Congress (WREC VII), Cologne, 29 June -5 July 2002.

[2] A. Adane, Youcef Ettoumi and A. Mefti. Technico - economical aspects of solar energy conversion systems in Algeria. Eighth World Renewable Energy Congress (WREC VIII), Denver, 28 August -03 September 2004.

- [3] Données de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables Ghardaïa, Algérie.
- [4] MELLIT A. , KALOGIROU S. A. , SHAARI S., SALHI H.and HADJ ARAB A., Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas: Application for sizing a stand-alone.