

Choix d'un Modèle Numérique Adéquat pour l'Estimation des Eclairements Incidents à Ghardaïa

M. Hamdani, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz et M.K. Cherier.

Abstract - Le présent travail traite une confrontation entre des valeurs de rayonnement solaire mesurées et des valeurs estimées par trois approches théoriques sur le site de Ghardaïa proposées dans la littérature par divers chercheurs. Des données radiométriques sont continuellement collectées pour tester ces approches qui sont valables pour un ciel totalement clair. Selon les confrontations et les résultats obtenus, nous avons jugé que le modèle de Capderou est généralement le plus favorable pour l'estimation de l'éclairement solaire incident sur un capteur horizontal. Cependant, la méthode empirique de Perrin Brichambaut est plus conforme pour l'estimation des éclairements incidents sur les plans inclinés et plus particulièrement pendant les mois de: Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars. Selon ces résultats, nous avons constaté que le modèle R. sun est le plus avantageux pendant le mois de Juin, alors que durant le mois de Juillet, nous avons trouvé que ce modèle donne des bons résultats uniquement au lever et au coucher du soleil. Tandis que le modèle de Capderou est le plus conseillé en dehors de cette intervalle.

Mots clés — Eclairement Solaire – Capderou – R.sun – Méthode Empirique de Perrin Brichambaut

I. INTRODUCTION

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. On peut citer les approches Markoviennes qui ont contribué à la modélisation. Des études plus récentes s'intéressent à la modélisation du

caractère aléatoire du rayonnement solaire en utilisant les réseaux de neurones et l'analyse fractale. Quelques travaux ont utilisé l'insolation et d'autres ont utilisé la moyenne journalière de l'humidité relative, le maximum et le minimum de la température. D'autres travaux sont aussi effectués pour évaluer le potentiel solaire. Il y a lieu de citer les premiers travaux menés par Liu et Jordan qui ont donné une relation liant l'irradiation solaire journalière diffuse et celle globale sur une surface horizontale. On peut citer également les travaux de Orgilland et Holands 1977 de même que les travaux de Erbs et al 1982 qui ont corrélé la fraction diffuse du rayonnement solaire avec l'indice de clarté [1-6].

La première étape consiste en la détermination des différents paramètres astronomiques, et plus précisément la position exacte du soleil quelque 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 φ et la longitude λ . Ils sont fondés respectivement

sur la position des parallèles, qui sont des lignes parallèles à l'équateur, et des méridiens, qui font le tour du globe terrestre en passant par les deux pôles et qui se réfèrent au méridien de Greenwich [7-11].

Il nous a paru utile, dans un deuxième temps, d'étudier la modélisation théorique du rayonnement solaire, qui a permis d'effectuer une étude comparative entre les trois modèles (le modèle de Capderou, le modèle R.sun et la méthode empirique de Perrin Brichambaut) une analyse critique, à partir d'une validation des résultats obtenus pour le site de Ghardaïa. Enfin, une détermination de l'énergie solaire disponible sur le site sera menée en vue d'un bon dimensionnement des installations.

II. DONNEES EXPERIMENTALES

Les données utilisées pour atteindre l'objectif principal, sont collectées durant les différentes saisons de l'année 2009 [1,3]. et stockées toutes les 5 minutes, par la station radiométrique. Pour le site de Ghardaïa. Ces données correspondent aux moyennes du rayonnement solaire global mesurées sur un horizontale et verticale. Les données du rayonnement solaire (global, diffus et direct normal) utilisées proviennent de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies

M. Hamdani, Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, B.P, 88, ZI, Gare Taam Ghardaïa, 47000 – Algérie

(e-mail: hamdanimaamar@yahoo.fr).

S.M.A. Bekkouche, Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, B.P, 88, ZI, Gare Taam Ghardaïa, 47000 – Algérie

(e-mail: smabekkouche@yahoo.fr).

T. Benouaz, Laboratoire de Physique Electronique et Modélisation, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen. BP, 119, Tlemcen R.P. 13000 – Algérie (e-mail: t_benouaz@mail.univ-tlemcen.dz.).

M.K. Cherier, Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, B.P, 88, ZI, Gare Taam Ghardaïa, 47000 – Algérie

(e-mail: cmohamedkamel@yahoo.fr).

III. DESCRIPTION DES MODELES UTILISES

Les modèles présentés ci-dessous sont des modèles basés sur les divers coefficients d'atténuation du rayonnement solaire par les éléments constituant l'atmosphère.

A. Modèle de Capderou

Le modèle de Capderou utilise le trouble atmosphérique pour calculer les composantes directe et diffuse de l'irradiation reçue sur un plan. L'absorption et la diffusion causées par les constituants de l'atmosphère peuvent être exprimés par des facteurs des troubles. A partir de ces facteurs, on peut exprimer les irradiances directe et diffuse par ciel clair [1,4].

Eclairement global reçu sur un plan horizontal par ciel clair

La méthodologie adoptée par Capderou est basée sur l'utilisation du trouble atmosphérique pour calculer les composantes directe et diffuse de l'irradiation reçue sur un plan d'inclinaison et d'orientation variables, à partir d'un modèle de l'atmosphère. Dans ce modèle, les irradiances directe et diffuse par ciel clair sont exprimées en fonction des facteurs de trouble correspondants [1-6].

L'éclairement direct par ciel clair sur un plan horizontal

$$I = I_0 \sin(h) C_{ts} \exp \left[-T_L^* \left(0.9 + \frac{9.4}{0.89^z} \sin(h) \right)^{-1} \right] \quad (1)$$

L'éclairement diffus incident sur un plan horizontal

$$D = I_0 C_{ts} \exp(-1 + 1.06 \log(\sin(h))) + a - \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

Eclairement global reçu sur un plan incliné par ciel clair

L'éclairement direct est la projection de la composante normale sur un plan incliné

$$I = I_n \cos(i) = I_0 C_{ts} \exp \left[-T_L^* \left(0.9 + \frac{9.4}{0.89^z} \sin(h) \right)^{-1} \right] \cos(i) \quad (3)$$

L'éclairement diffus incident sur un plan incliné

$$D = d_{ciel} + d_{sol} + \delta'_i \frac{1 + \sin(\gamma)}{2} \quad (4)$$

D'où l'éclairement global incident, à un instant donné sur un plan (α, γ) est:

$$G = I + D \quad (5)$$

B. Methode empirique de perrin brichambau

Pour un ciel clair, les éclairements du rayonnement direct E_s , diffus E_d et global E_G reçue par un capteur (α, β) sont donnés par les relations suivantes:

$$E_D = \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) D_H + \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) a^* G_H \quad (6)$$

$$E_S = A \cos(i) \exp \left(-\frac{1}{B \sin(h+2)} \right) \quad (7)$$

$$E_G = E_S + E_D \quad (8)$$

$$D_H = A' (\sin(h))^{0.4} \quad (9)$$

$$G_H = A'' (\sin(h))^{B''} \quad (10)$$

D_H : éclairement diffus reçus par une surface horizontale

G_H : éclairement global reçu par une surface horizontale

a^* : étant l'albédo du sol (coefficient de réflexion du sol).

$$a^* = \begin{cases} 0.9 \text{ à } 0.8 & \text{neige} \\ 0.8 \text{ à } 0.4 & \text{sol clair} \\ 0.4 \text{ à } 0.2 & \text{verdure} \end{cases}$$

A, B, A', A'', B//: sont des constantes qui dépendent de l'état de l'atmosphère

TABLE I
PARAMETRES DECRIVANT L'ETAT DE L'ATMOSPHERE

Etat de l'atmosphère	A	B	A/	A//	B//
Ciel bleu foncé	1300	6	87	1150	1.15
Ciel bleu clair	1230	4	125	1080	1.22
Ciel bleu laiteux	1200	2.5	187	990	1.25

C. Modele r.sun

Eclairement incident sur un plan horizontal par ciel clair

Le rayonnement direct normal B_{oc} est exprimé en fonction du facteur T_{LK} selon la formule suivante [8-9]:

$$B_{oc} = I \times \exp \left\{ -0.8662 T_{LK} \times m \times \delta_R(m) \right\} \quad (11)$$

Le terme $-0.8662 T_{LK}$ est le deuxième facteur de trouble atmosphérique de Linke par ciel clair (sans dimension) corrigé par Kasten [7-11].

Le rayonnement direct incident sur un plan horizontal par ciel clair B_{hc} est donné par l'équation suivante :

$$B_{hc} = B_{oc} \times \sin h_o \quad (12)$$

L'estimation de la composante diffuse sur un plan horizontal

D_{hc} (Wm^{-2}) est effectuée en faisant le produit de l'éclairement énergétique I normale extraterrestre, le facteur de transmission (T_n est en fonction uniquement du facteur de trouble atmosphérique de Linke corrigé T_{LK}) et une fonction du diffus de l'altitude solaire F_d qui dépend que de l'altitude solaire h_0 [12,14].

$$D_{hc} = I \times T_n(T_{LK}) \times F_d(h_o) \quad (13)$$

L'estimation du facteur de transmission T_n (T_{LK}) permet de donner un éclairement diffus théorique sur une surface horizontale. L'expression suivante est sous forme d'une fonction polynomiale de deuxième ordre:

$$T_n(T_{LK}) = -0.051843 + 0.030543 T_{LK} + 0.0003797 T_{LK}^2 \quad (14)$$

La fonction de l'altitude solaire F_d est donnée par :

$$F_d(h_o) = A_1 + A_2 \sin h_o + A_3 \sin^2 h_o \quad (14)$$

A_i sont des coefficients dépendants uniquement du facteur de trouble TL corrigé [12].

Eclairement incident sur un plan incliné par ciel clair

Le rayonnement direct normal sur un plan incliné B_{ic} obtenu par la relation suivante [12]:

$$B_{ic} = B_{oc} \sin \delta e_{xp} \quad (15)$$

Ou bien

$$B_{ic} = B_{hc} \sin \delta_{exp} / \sin h_o \quad (16)$$

Avec δ_{exp} est l'angle d'incidence solaire mesuré entre le soleil et une surface inclinée [12,14].

IV. SIMULATION NUMERIQUE ET CONFRONTATION DES RESULTATS

Les stations de mesures sont rares à travers le territoire national. Pour leurs estimations, on a recours aux modèles théoriques. Ces modèles sont établis sous forme de corrélation. Pour qu'ils soient applicables aux sites considérés, ces derniers doivent être confrontés aux valeurs réellement mesurées sur le site considéré sur une période qui couvrira les différentes saisons de l'année [6].

Pendant, une étude comparative a été effectuée sur les éclairagements solaires globaux incidents sur un plan horizontal et sur une surface inclinée à latitude de lieu (32°) orientée vers le Sud. Pour ce faire, plusieurs journées ont été sélectionnées pour comparer les valeurs calculées par les trois modèles et celles données par la station radiométrique de Ghardaïa.

La figure (1) donne une comparaison entre l'éclairement global horizontal mesuré et calculé pour la journée du 02 Janvier 2009. Tandis que la deuxième (figure (2)) indique l'erreur relative commise sur les éclairagements incidents entre dix heures et seize heures. Le même ordre sera respecté pour la numérotation des autres figures, que se soit pour les éclairagements globaux incidents sur un plan horizontal ou sur un capteur incliné. En d'autres termes, chaque fois que nous procéderons à la confrontation des résultats simulés et mesurés, un calcul d'erreur relative sera mise en place pour juger la fiabilité du modèle proposé au niveau de notre site.

Puisque cette partie est consacrée à l'aspect théorique et expérimental, donc, nous utilisons l'expression de l'erreur relative instantanée qui est donnée par l'équation suivante:

$$Er_r = \left| \frac{G_{mesuré} - G_{calculé}}{G_{mesuré}} \right| \quad (17)$$

(64)

G: éclairement solaire ($w m^{-2}$)

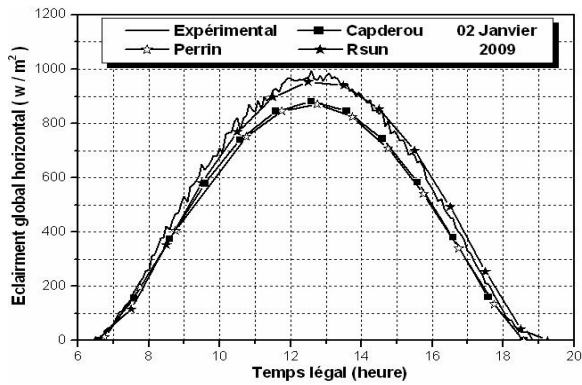


Fig. 1. Eclairage global sur une surface horizontale. 02/01/2009.

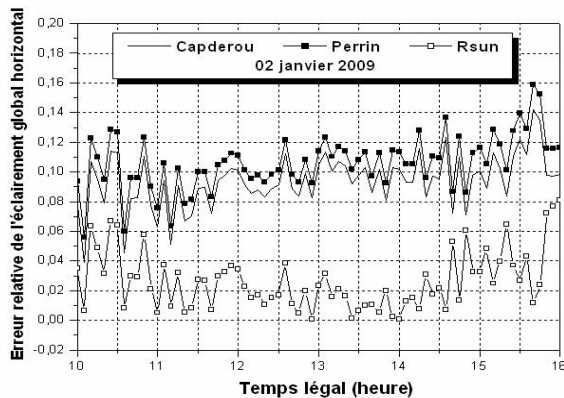


Fig. 2. Erreur relative instantanée correspondante. 02/01/2009

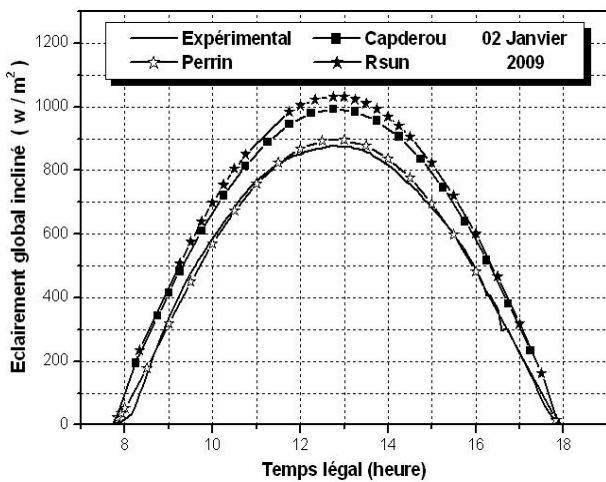


Fig. 3. Eclairage global sur une surface inclinée ($\beta = 32^\circ$), 2/01/2009.

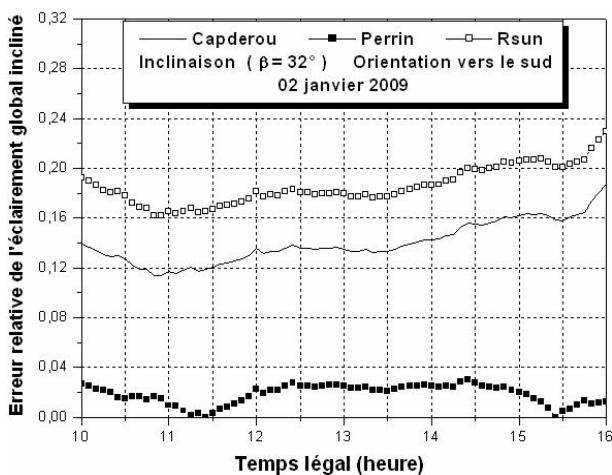


Fig. 4. Erreur relative instantanée correspondante, 02 / 01 / 2009.

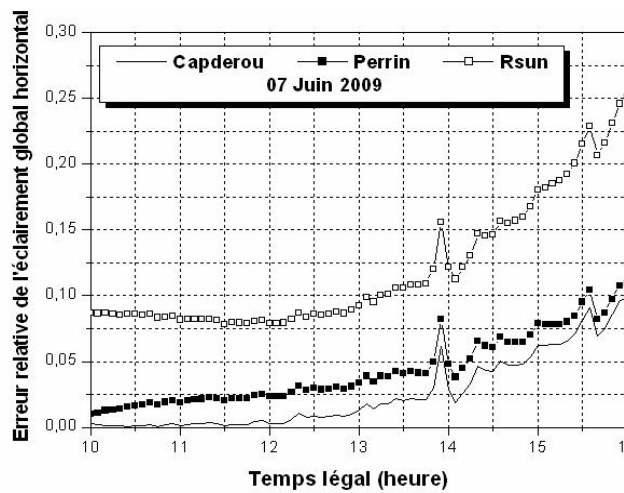
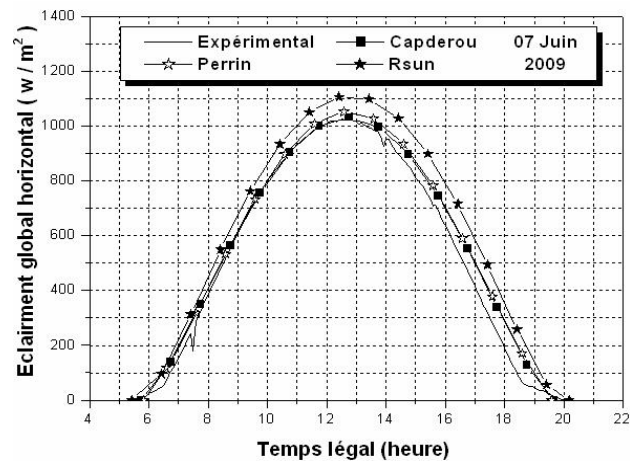


Fig. 6. Erreur relative instantanée correspondante, 07/ 06 / 2009.

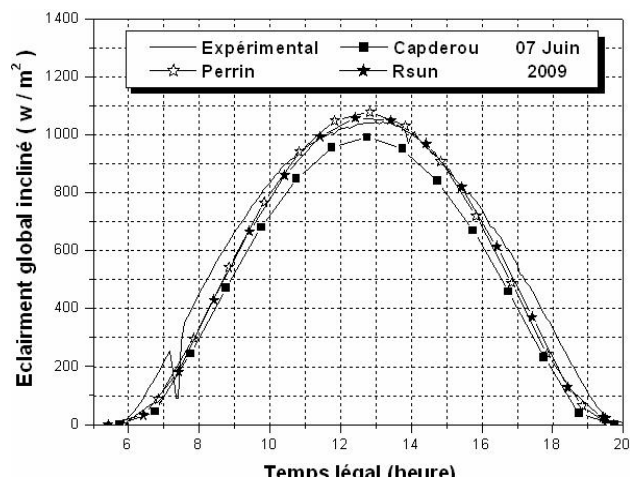


Fig. 7. Eclairage global sur une surface inclinée ($\beta = 32^\circ$), 07 / 06 / 2009.

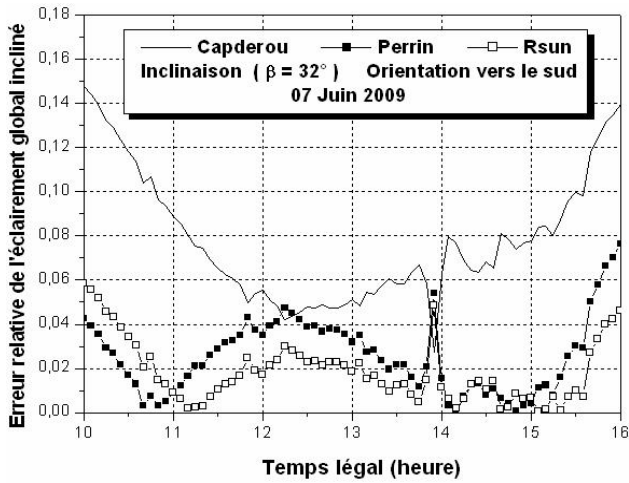


Fig. 8. Erreur relative instantanée correspondante, 07/ 06 / 2009.

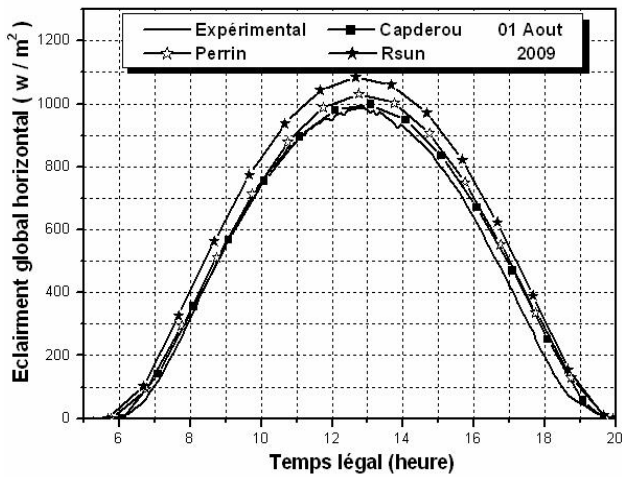


Fig. 9. Eclairage global sur une surface horizontale, 01 / 08 / 2009.

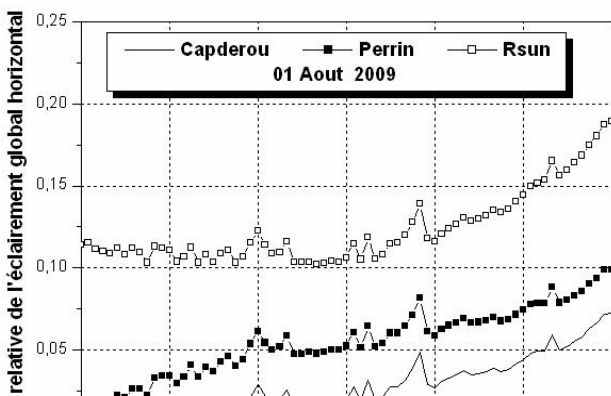


Fig. 10. Erreur relative instantanée correspondante, 01/ 08 / 2009.

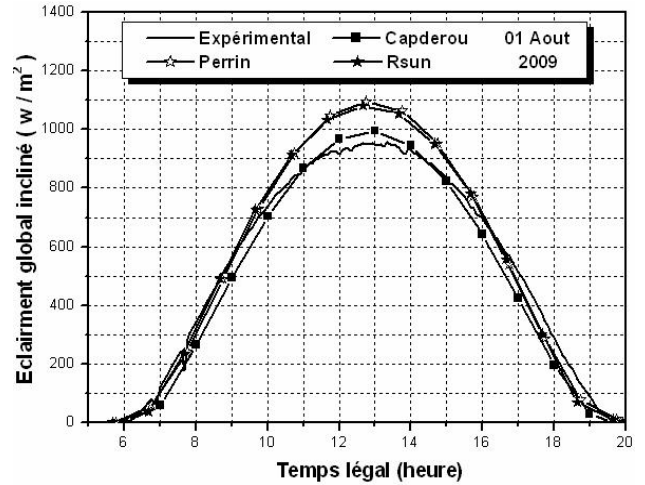


Fig. 11. Eclairage global sur une surface inclinée ($\beta = 32^\circ$), 01 / 08 / 2009.

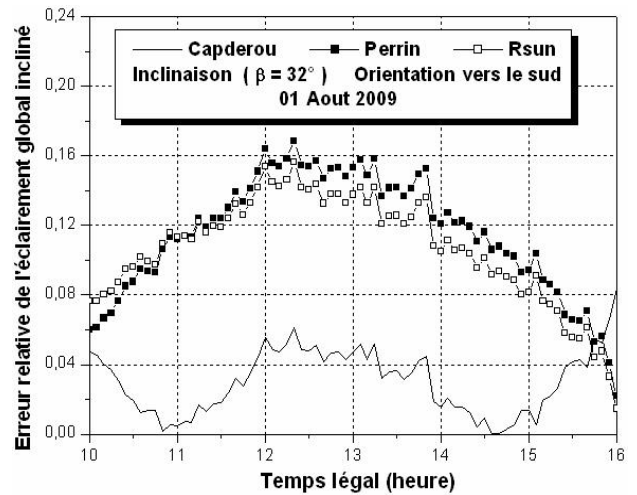


Fig. 12. Erreur relative instantanée correspondante, 01/ 08 / 2009.

V. CONCLUSION

L'étude du gisement solaire est le point de départ de toute investigation dans le domaine de l'architecture solaire et bioclimatique. L'énergie globale incidente sur un plan incliné est la plus appropriée que celle incidente sur un plan horizontal. La mise au point de la modélisation a été effectuée à l'aide d'une campagne de mesures de l'éclairement solaire global sur des surfaces horizontales et inclinées. Le traitement des données est effectué sur des mesures choisies couvrant l'année 2009, collectées toutes les cinq minutes pour le site de Ghardaïa. Toutes ces étapes permettent de choisir des modèles fiables et adéquats et qui peuvent être exploités durant ces études qui concernent l'effet de l'orientation d'une telle habitation sur ses températures intérieures.

Selon les confrontations et les résultats obtenus, nous avons jugé que:

Le modèle de Capderou est généralement le plus favorable pour l'estimation de l'éclairement solaire incident sur un capteur horizontal, même s'il présente qu'un peu d'avantage par rapport à celui de R.sun. Par contre, la méthode empirique de Perrin Brichambaut donne parfois des résultats qui divergent radicalement par rapport aux valeurs mesurées au niveau de Ghardaïa.

Il s'ensuit que nous avons trouvé selon les erreurs relatives tracées que la méthode empirique de Perrin Brichambaut est plus conforme pour l'estimation des éclairagements incidents sur les plans inclinés et plus particulièrement pendant les mois de: Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars.

Les études menées sur les mois de: Mai, Avril, Août et Septembre prouvent que globalement le modèle de Capderou donne les meilleures estimations.

Nous avons constaté aussi que le modèle R.sun est le plus avantageux pendant le mois de Juin, alors que durant le mois de Juillet, nous avons trouvé que ce modèle donne des bon résultats uniquement au lever et au coucher du soleil. Tandis que le modèle de Capderou est le plus conseillé en dehors de cette intervalle.

En résumé, nous avons choisi d'utiliser la méthode empirique de Perrin Brichambaut pour calculer les éclairagements instantanés incidents sur les murs de l'habitat durant la période du Octobre jusqu'au mois de Mars. Or que le Modèle de Capderou sera sélectionné pour l'estimation de

l'éclairement solaire instantané incident sur le toit pour toute l'année et pour la détermination de l'éclairement incident sur les surfaces verticales exposées au soleil. Il sera appliqué pour les mois d'Avril, Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre (malgré que nous avons trouvé que le modèle R.sun est le plus adéquat pour le mois de Juin).

REFERENCES

- [1] S.M.A. Bekkouche, "Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires" Thèse de Doctorat en Physique Electronique, Université de Tlemcen. (mai 2009).
- [2] M.R. Yaïche, S.M.A. Bekkouche, "Conception et Validation d'un Programme sous Excel pour L'estimation du Rayonnement Solaire Incident en Algérie. Cas d'un Ciel Totalelement Clair". Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°3 (2008) 423 – 436
- [3] H. Maamar, S.M.A. Bekkouche, "Caractérisation, Etude Théorique et Expérimentale d'un Capteur Solaire Plan à Eau de Type Megasun " Premier Workshop International sur les Energies Renouvelables et leurs Applications. Laghouat, les 10, 11 et 12 Mai 2008.
- [4] M. Capderou, "Atlas Solaire de l'Algérie " Tome1, vol1 et 2 : Modèles Théoriques et Expérimentaux, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987.
- [5] B.Ould Bilal, V. Sambou, C. M. F. Kébé, M. Ndongo, P.A. Ndiaye " Etude Et Modelisation du Potentiel Solaire Du Site De Nouakchott Et De Dakar " J. Sci.Vol. 7, N° 4 (2007) 57 – 66
- [6] A.Moummi, Al, " Estimation du Rayonnement Solaire Par Deux Approches Semi Empiriques dans le Site de Biskra" Proceedings of the 2nd International Conference on Differential Equations in Marrakech, Maroc.
- [7] F. Linke, "Transmissions-Koeffizient Und Trübungs faktor " Beiträge Zur Physik Der Atmosphäre, Vol. 10, pp. 91 – 103, 1922.
- [8] R. Dogniaux, " L'influence de L'Estimation du Facteur Total de Trouble Atmosphérique sur L'Evaluation du Rayonnement Solaire Direct par Ciel Clair. Application aux Données Radiométriques de l'IRM à Uccle" Institut Royal Météorologique de Belgique (IRM), Miscellanea, Serie C, N°20, 1984.
- [9] J. Remund, L.Wald, M.Lefevre, T. Ranchin and J. Page, in press. "Worldwide Linke Turbidity Information" Proceedings of The ISES Solar World Congress 2003, Goeteborg, Sweden, 16-19 June 2003.
- [10] A. Louche, G. Peri et M. Iqbal, "An analysis of Linke Turbidity Factor" Solar Energy, Vol. 37, N°6, p. 393 – 396, 1986.
- [11] L. Diabaté, J. Remund, L. Wald, "Linke Turbidity Factors for Several Sites in Africa " Solar Energy 75 (2003) 111–119.
- [12] E. R. Bird, R.L.Hulstrom, "A Simplified Clear Sky Model for Direct and Diffuse Insulation on Horizontal Surfaces ", Seri Tr -642-761 February 1981.
- [13] J.Hofierka, M.Suri, "The Solar Radiation Model for Open Source GIS: Implementation and Applications". Proceedings of the Open Source GIS - GRASS Users Conference 2002 – Trento, Italy, 11-13 September 2002.
- [14] 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 (2009) 331 – 346.
- [15] J.M. Chasseriau, "Conversion Thermique Du Rayonnement Solaire " Ed. Dunod, France, 273 p, 1984.

