

## Conception et validation d'un logiciel sous Excel pour la modélisation d'une station radiométrique en Algérie Cas d'un ciel totalement clair

Mohamed Rédha Yaïche<sup>1</sup> et Sidi Mohammed El Amine Bekkouche<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre de Développement des Energies Renouvelables,  
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie

<sup>2</sup> Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables. 'URAER'  
B.P. 88, Z.I. Garaa. Taam, Ghardaïa, Algérie

(reçu le 25 Juillet 2009 – accepté le 25 Décembre 2009)

**Résumé** - Le rayonnement solaire qui arrive au sol peut se décomposer en deux parties: l'une provient directement du soleil (direct) qui est mesurée par un pyréliomètre qui suit la course du soleil et qui se trouve toujours perpendiculaire, l'autre a été diffusée par l'atmosphère (diffus), qui est mesurée par un pyranomètre muni d'un cache qui provoque l'ombre sur la cellule. L'ensemble forme le rayonnement global mesuré par un pyranomètre. De ce fait, un code de calcul des rayonnements diffus, direct à incidence normale, global horizontal et global pour différentes inclinaisons et orientations sous Excel™ pour les 48 wilayas d'Algérie a été élaboré. Pour ce faire, nous avons adopté et choisi deux approches théoriques qui sont valables pour un ciel totalement clair. Pour l'estimation des éclairiments sur un plan horizontal, nous avons utilisé le modèle de Perrin de Brichambaut (Atlas Solaire de l'Algérie, Capderou [1]). Alors que le modèle de Liu & Jordan a été sélectionné pour le calcul de l'éclairissement direct à incidence normale et pour l'estimation de l'éclairissement global incliné [3]. Il s'ensuit que des exemples des journées de ciel clair pour les sites de Bouzaréah (C.D.E.R) et de Ghardaïa (U.R.A.E.R) sont représentés pour la validation et la confrontation des résultats expérimentaux. Dans l'ensemble, la concordance s'avère acceptable.

**Abstract** - Solar radiation that reach the earth surface is composed of two major: components namely beam (direct) and diffuse components. The beam component is the one that passes through the atmosphere without being scattered and it is usually measured using a pyrhelimeter that pursues the sun trajectory and to which is always oriented perpendicular. Whereas the latter is the one reaching the earth after being scattered by the atmosphere and its measurement is made possible using a pyranometre with a cache inter imposed on its cell to bloc beam or direct component. The summation of diffuse and beam radiation is called global radiation. Regarding this fact an Excel™ program enabling the calculation of diffuse radiation and beam radiation at normal incidence over the 48<sup>th</sup> departments of Algeria was elaborated. This program enables also the estimation of global horizontal radiation and global radiation at different incidence and orientation angles. To do so, two clear sky theoretical approaches are chosen. In order to estimate the radiation on a horizontal plan Perrin de Brichambaut (Atlas Solaire de l'Algérie, Capderou) model has been implemented [1]. Whilst Liu Jordan model was selected to estimate direct irradiance at normal incidence and global irradiance at different angles of inclination, [3]. The theoretical results of typical clear sky of Bouzareah (CDER) and Ghardaïa (URAER) are compared to those found experimentally. It has been found that both results are similar to a large extent.

**Mots clés:** Programme de calcul sous Excel – P. de Brichambaut / Capderou - Liu & Jordan - Direct à incidence normale – Diffus - Global incliné - Global horizontal.

## 1. INTRODUCTION

Pour l'exploitation des systèmes de conversion de l'énergie solaire, la connaissance détaillée aussi bien quantitative que qualitative du gisement solaire disponible est d'une importance capitale.

Les données de rayonnement solaire sont utilisées dans la conception, le développement, la réalisation, ainsi que dans l'évaluation des performances des systèmes d'énergie solaire et des applications solaires. Or, le rayonnement solaire étant mesuré sur un nombre limité de sites en Algérie, les données relatives à cette énergie ne sont pas toujours disponibles.

L'utilisation de modèles de simulation est pratiquement l'un des seuls moyens pour pallier à ce problème de données radiométriques. Au-delà, la connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant et en tout lieu est nécessaire et indispensables pour l'étude et le calcul de cette source énergétique interceptée [4].

## 2. TRANSMISSION DU RAYONNEMENT SOLAIRE A TRAVERS L'ATMOSPHERE

Au cours de la traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est:

- absorbé de façon sélective, essentiellement par les gaz. Ce phénomène est particulièrement marqué dans l'ultraviolet en raison de la présence de l'ozone et surtout dans l'infrarouge où existent de fortes bandes d'absorption par H<sub>2</sub>O mais aussi O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> et CO.

Les poussières et les aérosols sont également absorbants, mais de façon moins sélective.

- diffusé; c'est l'effet le plus important dans la partie visible du spectre solaire. Deux cas doivent être envisagés selon la taille relative de la particule diffusante  $L$ , et de la longueur d'onde incidente  $\lambda$ :

- Pour  $L \ll \lambda$ , le coefficient d'extinction est proportionnel à  $\lambda^{-4}$ ;
- Pour  $L \gg \lambda$ , le coefficient d'extinction est donné par des formules beaucoup plus complexes.

Le rayonnement solaire provenant au sol peut se décomposer donc en deux parties:

- le rayonnement direct provenant directement du soleil,
- le rayonnement diffus, diffusé par les molécules, les poussières, les aérosols.

On appelle  $I$  la puissance reçue en rayonnement direct par unité de surface, normale aux rayons. L'éclairement dû au rayonnement diffus sur une surface horizontale est  $D$ . L'éclairement global  $G$  reçu par une surface horizontale est donné par la relation suivante:

$$G = D + I \times \sin(h) \quad (1)$$

$h$ : Hauteur du soleil, (degrés). Les quantités  $I$ ,  $D$  et  $G$ , exprimées en Wh/m<sup>2</sup>, sont appelées irradiances directe, diffuse et globale.

## 3. MODELES NUMERIQUES CHOISIS

Afin d'estimer les éclaircissements diffus, direct et global sur un plan horizontal, le modèle de Perrin de Brichambaut (Capderou, [1]) a été utilisé. Le problème affecté à ce

modèle, est de révéler le facteur de trouble atmosphérique pour le calcul des composantes directe et diffusé 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 de trouble. A partir de ces facteurs, on peut exprimer les irradiances directes et diffusées par ciel clair.

Au-delà d'une certaine limite, ces valeurs seront exploitées pour le calcul des éclairagements direct à incidence normale et global incliné à différentes orientations par le modèle de Liu & Jordan, qui est à l'encontre du précédent, mais le plus fréquemment employé. Les équations mathématiques détaillées qui identifient ces deux modèles choisis peuvent être retrouvées dans la référence [5].

En l'occurrence, l'éclairage direct calculé par ce programme fait objet d'une poursuite solaire aveugle. (Fig. 1). En d'autres termes, le pyrhéliomètre va suivre le soleil même durant des passages nuageux, ce qui signifie qu'il rentre automatiquement en mode de calcul [1].

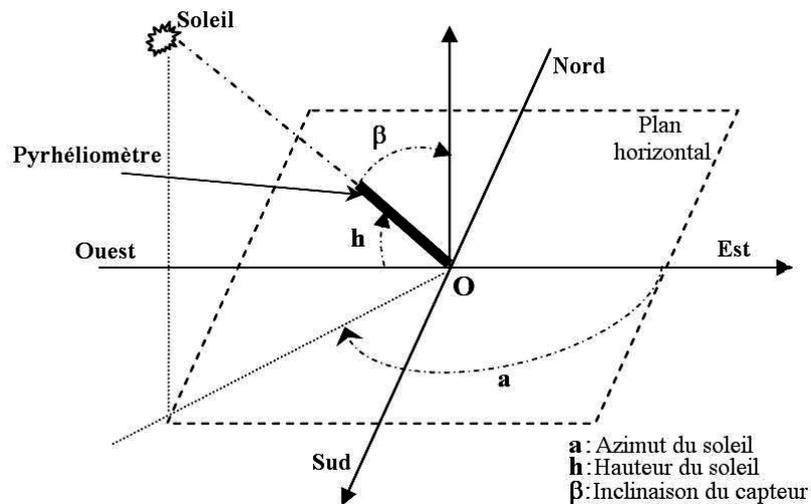


Fig. 1: Repère horizontal et schéma représentatif du système de poursuite solaire

#### 4. DEMONSTRATION DES DIVERS TYPES D'INTERFACES DU PROGRAMME DE CALCUL

Le programme de calcul possède des interfaces de type numérique et graphique, fonctionnant de manière simple et conviviale.

Il permet à l'utilisateur d'introduire le numéro du jour dans l'année et de visualiser la position de la terre par rapport au soleil et sa déclinaison, calculer l'équation du temps et la déclinaison du soleil de manière interactive.

Il nous donne aussi la possibilité de visualiser la position du soleil durant toute la journée, [6].

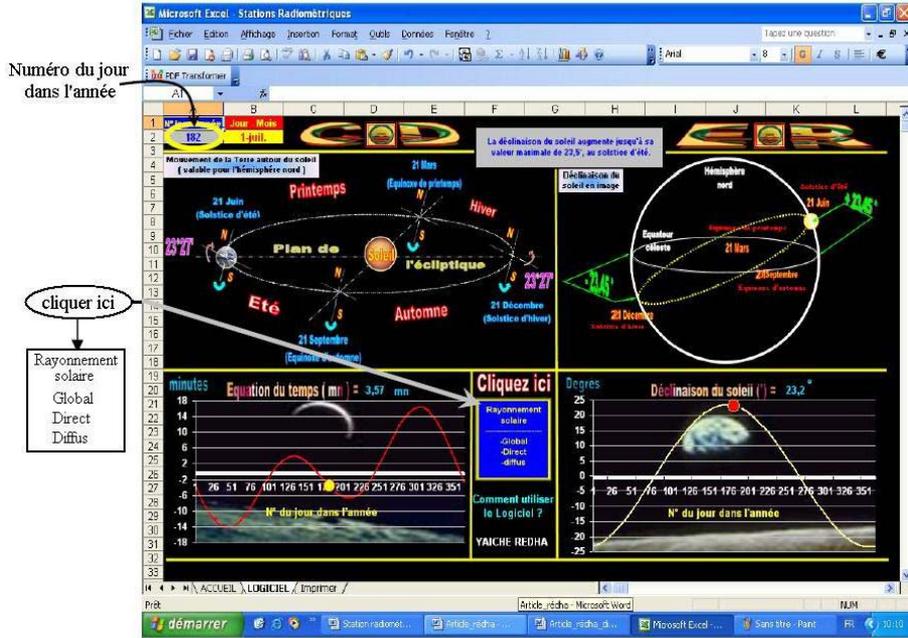


Fig. 2: Interface graphique donnant: la position de la Terre par rapport au Soleil, la déclinaison du soleil, le numéro du jour et du mois, l'équation du temps appropriée

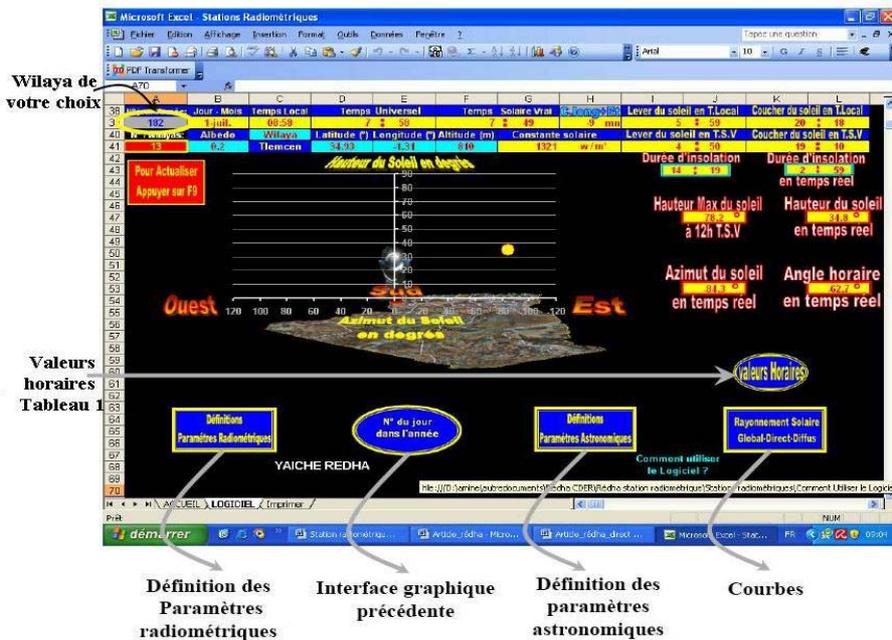


Fig. 3: Interface permettant de choisir la fenêtre ou le lien associé qui donne soit les définitions des paramètres astronomiques et radiométriques, soit les résultats et les courbes, avec oublier la possibilité de revenir à l'interface précédente



Fig. 4: Interface donnant les définitions des paramètres radiométriques

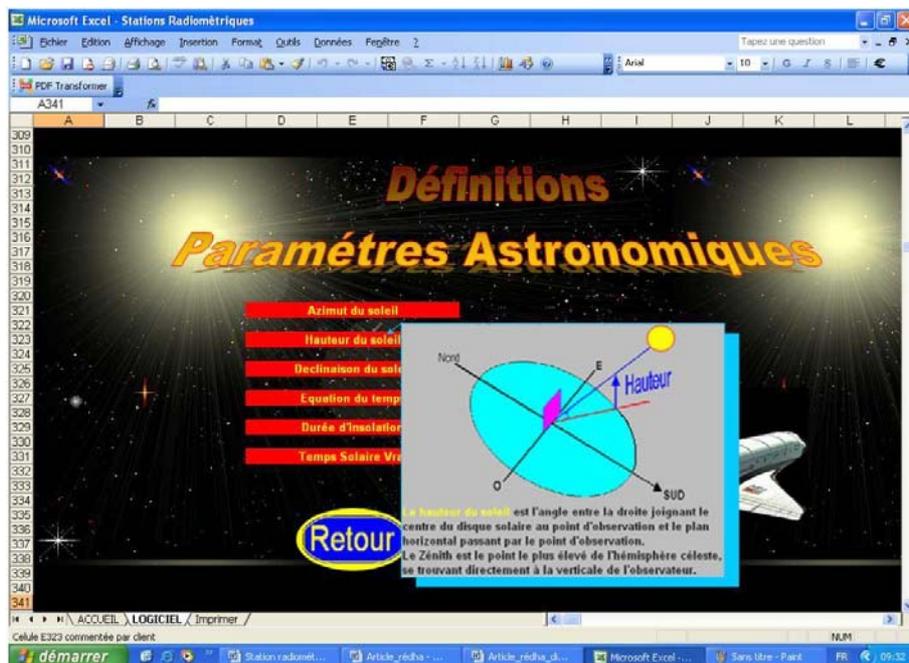
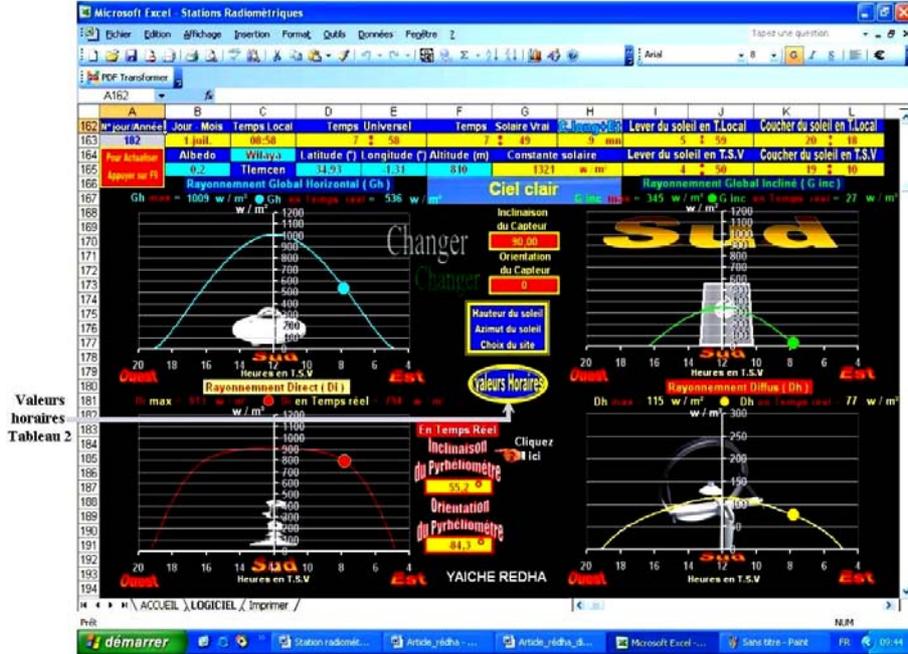


Fig. 5: Interface donnant les définitions des paramètres astronomiques



Valeurs horaires  
Tableau 2

Fig. 6: Interface graphique des éclairements, global horizontal, global incliné, diffus horizontal et direct à incidence normale

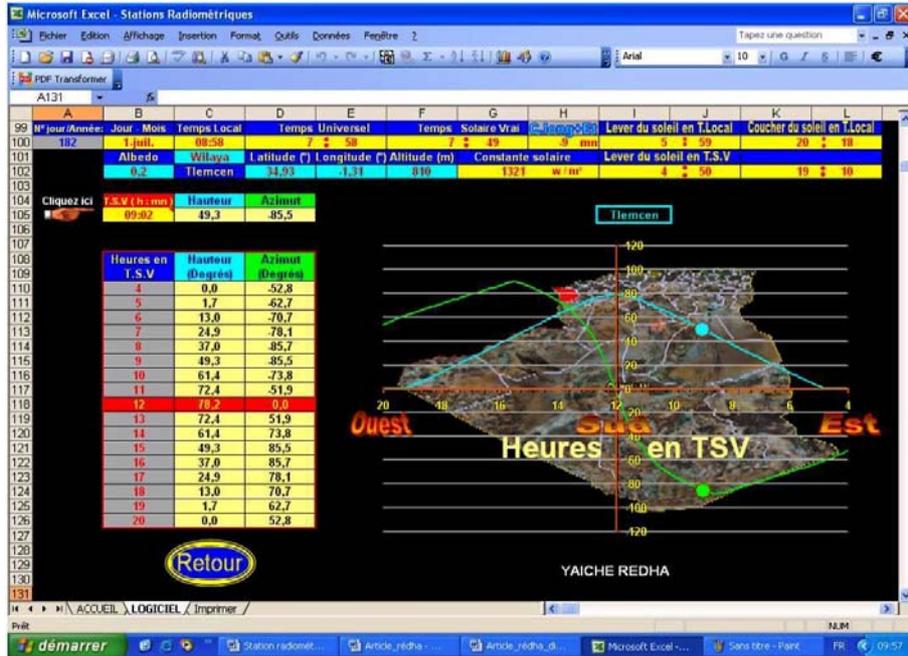


Fig. 7: Interface fournissant un tableau représentant les valeurs horaires, la hauteur et de l'azimut du soleil

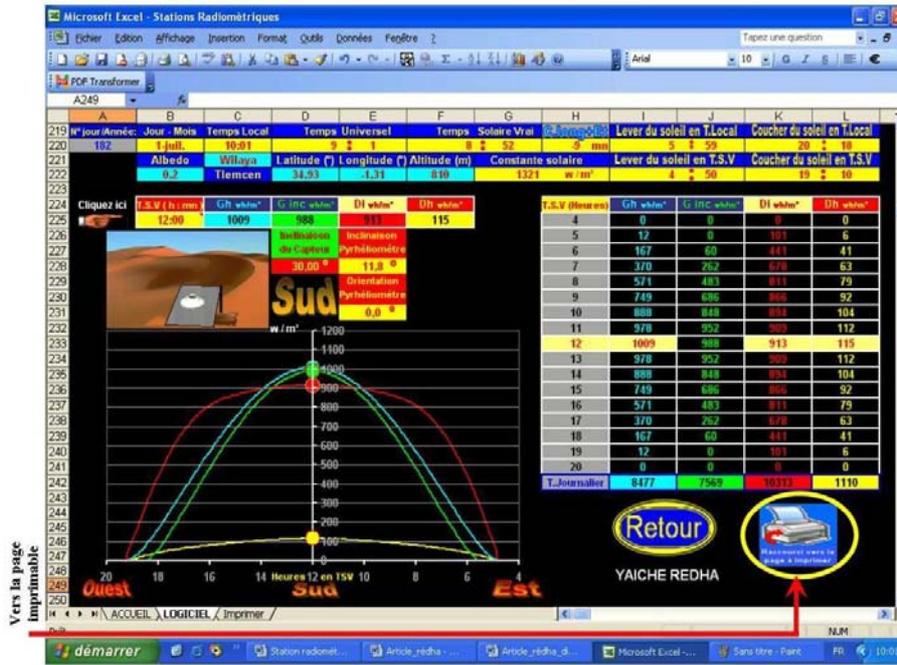


Fig. 8: Interface donnant les courbes et les valeurs horaires des éclairements: global horizontal, global incliné, diffus horizontal et direct à incidence normale

### 5. CONFRONTATION DES RESULTATS ET EXEMPLES D'APPLICATION

Cette partie est consacrée à l'aspect théorique et expérimental. Nous avons confronté les valeurs du rayonnement solaire fournies par les deux stations radiométriques de Ghardaïa (URAER) et de Bouzaréah (CDER), avec les valeurs calculées par le logiciel élaboré.

Cette étape incontournable est suivie par un calcul d'erreur relative instantanée. L'expression de ce dernier est donnée par l'équation suivante:

$$Err = \frac{|\Delta G|}{G_{mesuré}} \tag{2}$$

Les figures 10, 12, 14 et 16 présentent la comparaison des données expérimentales et calculées du rayonnement solaire du site de Bouzaréah. La journée du 20 Juin 1987 a été sélectionnée pour effectuer ce travail.

Des calculs d'erreurs relatives ont été effectués pour apprécier et tester l'efficacité du programme réalisé (Fig. 11, 13, 15 et 17). Les mesures sont enregistrées toutes les trente minutes.

Il s'ensuit que la même démarche a été suivie pour le site de Ghardaïa. Les figures 18, 20, 22 et 24 représentent donc respectivement les éclairements mesurés et calculés pour la journée du 03 Avril 2008. Quant aux figures 19, 21, 23 et 25, elles représentent l'évolution des erreurs relatives pour un pas de cinq minutes.

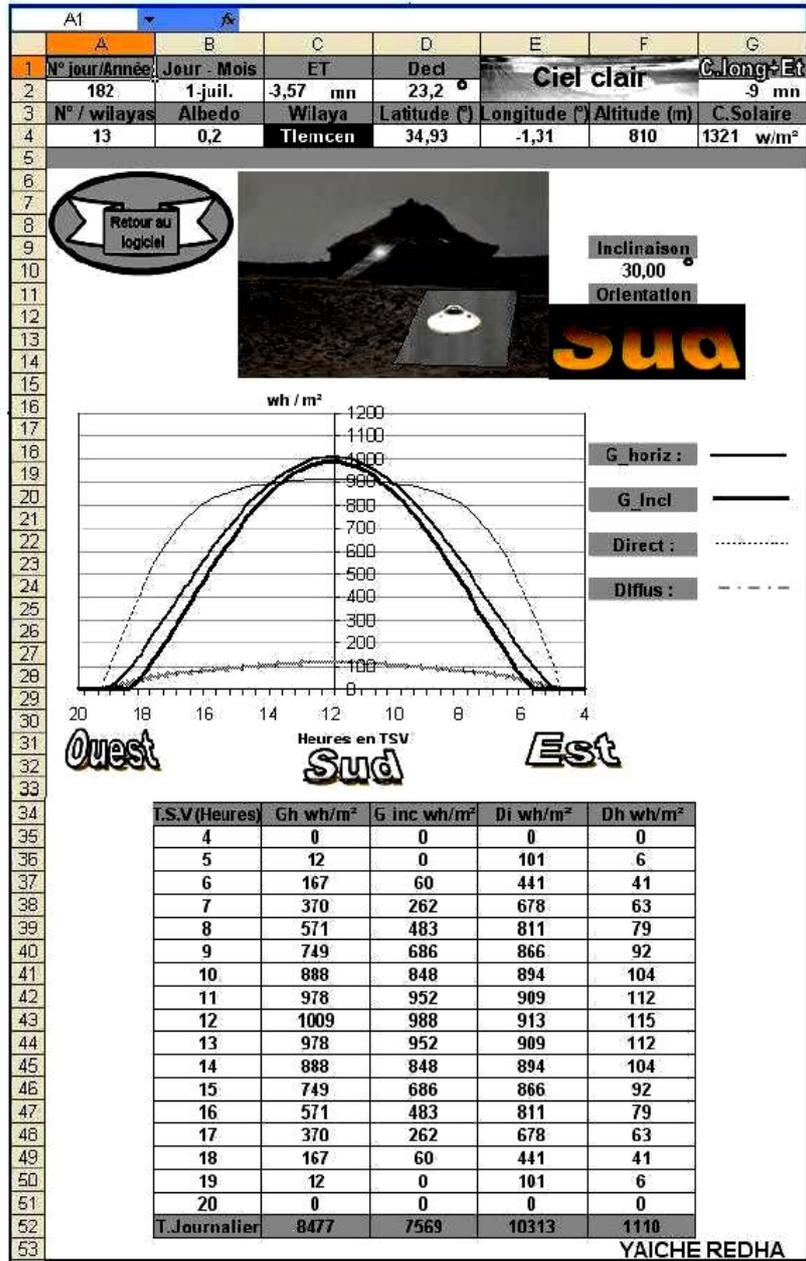


Fig. 9: Interface donnant une page imprimable

### 5.1 Site Alger – Bouzaréah (CDER)

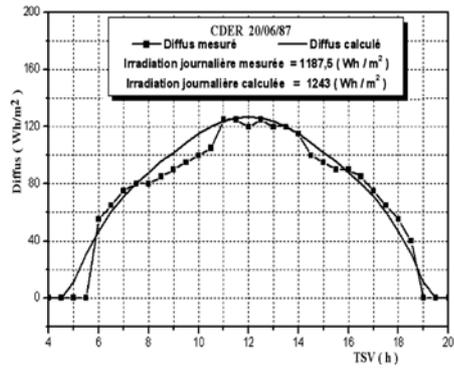


Fig. 10: Rayonnement diffus journalier sur surface horizontale

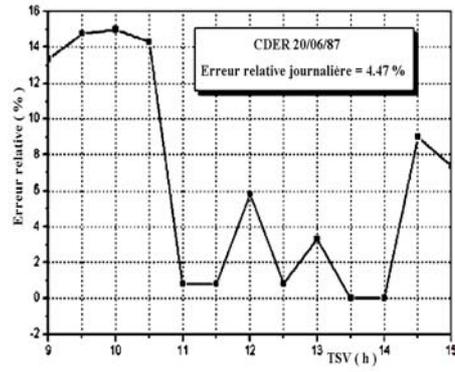


Fig. 11: Erreur relative instantanée sur le rayonnement diffus horizontal

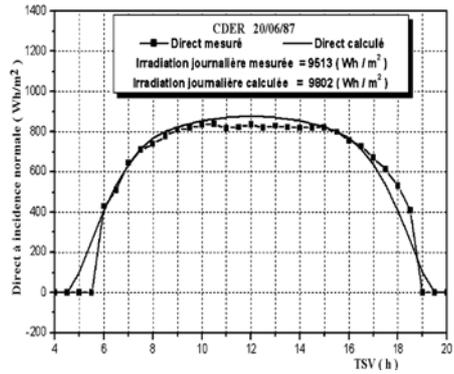


Fig. 12: Rayonnement direct journalier à incidence normale

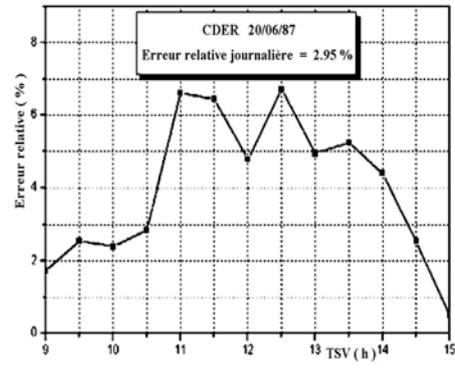


Fig. 13: Erreur relative instantanée sur le rayonnement direct normal

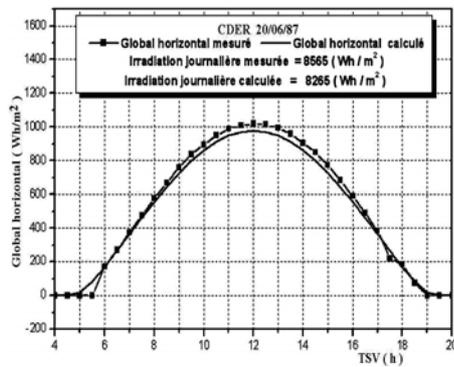


Fig. 14: Rayonnement direct journalier sur surface horizontale

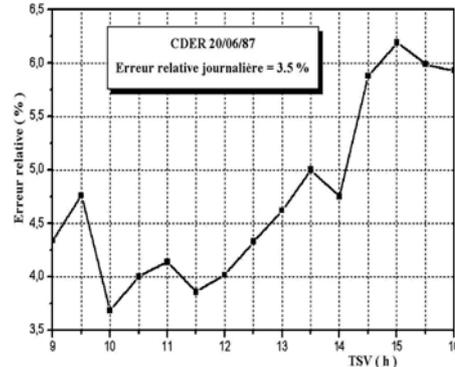


Fig. 15: Erreur relative instantanée sur le rayonnement global horizontal

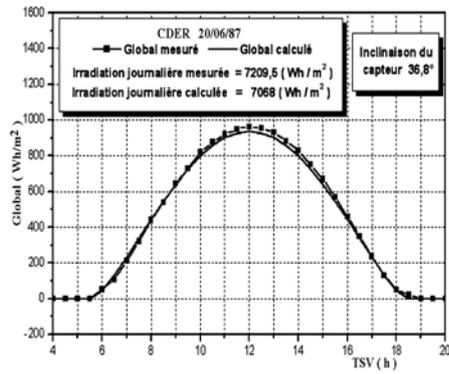


Fig. 16: Rayonnement global journalier sur surface inclinée à 36.8°

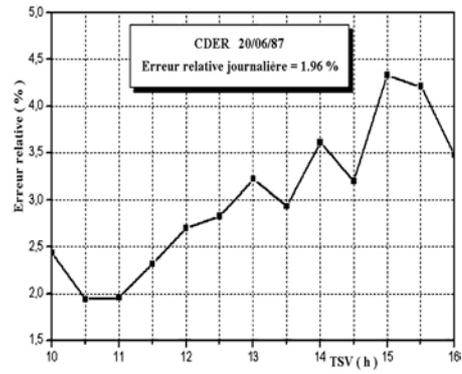


Fig. 17: Erreur relative instantanée sur le rayonnement global incliné à 36.8°

5.2 Site Ghardaïa – (URAER)

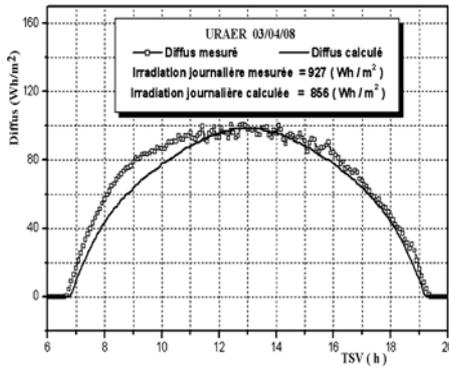


Fig. 18: Rayonnement diffus journalier sur surface horizontale

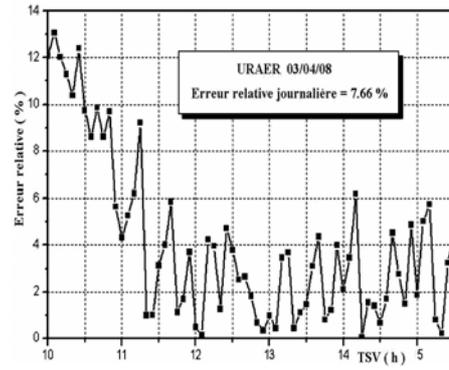


Fig. 19: Erreur relative instantanée sur le rayonnement diffus horizontal

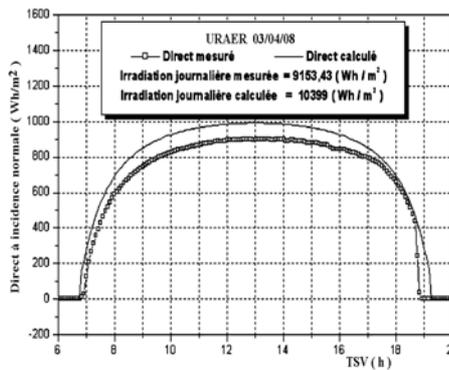


Fig. 20: Rayonnement direct journalier à incidence normale

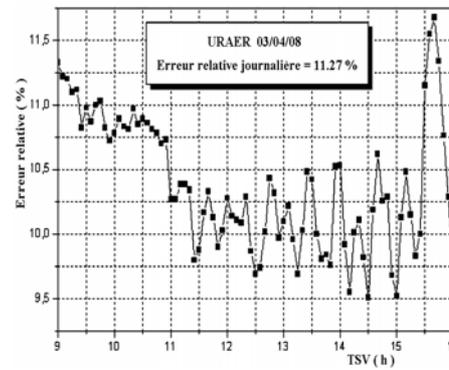


Fig. 21: Erreur relative instantanée sur le rayonnement direct normal

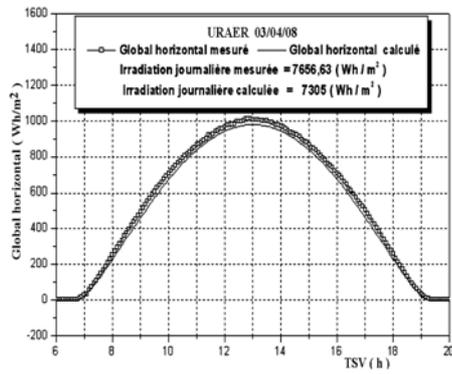


Fig. 22: Rayonnement global journalier sur surface horizontale

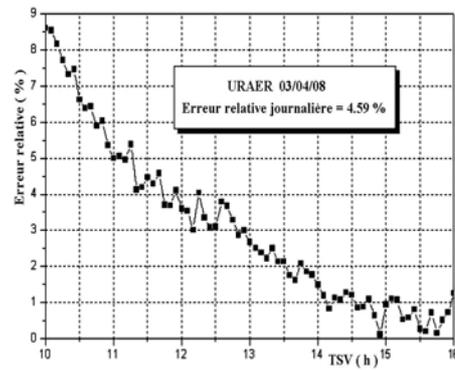


Fig. 23: Erreur relative instantanée sur le rayonnement global horizontal

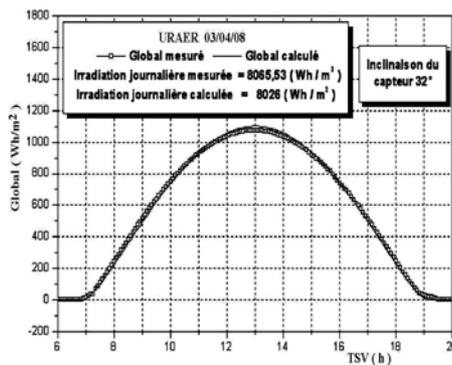


Fig. 24: Rayonnement global journalier sur surface inclinée à 32°

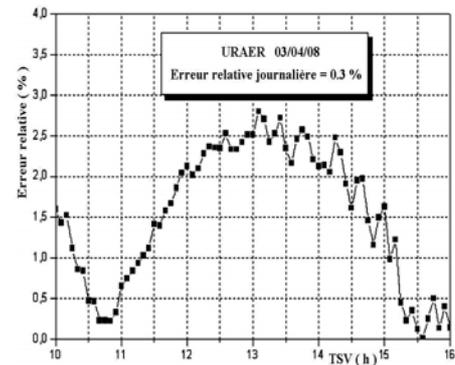


Fig. 25: Erreur relative instantanée sur le rayonnement global incliné à 32°

## 6. CONCLUSION

Le travail effectué dans cette contribution a pour but d'une part, d'identifier deux modèles de connaissance (modèle de Liu & Jordan et modèle de P. de Brichambaut 'Capderou'), et d'autre part, de participer à l'établissement d'un outil d'aide pour simulation correspondant.

Cet outil de simulation (Logiciel conçu) a pour finalité d'être ensuite couplé à une interface professionnelle, qui soit manipulable de manière conviviale par les chercheurs, les architectes et les enseignants.

L'intérêt de ces programmes consiste généralement à intégrer des données calculées pour l'optimisation des systèmes solaires photovoltaïques et thermiques, tels que: les systèmes à concentration et les systèmes de poursuite.

Ils montrent qu'il est possible de persuader les évolutions instantanées des éclairagements diffus horizontal, direct à incidence normale qui peuvent faire l'objet d'une

poursuite solaire aveugle, des éclairagements global horizontal et global incliné pour différentes orientations.

Dans l'ensemble, la comparaison s'avère acceptable, les erreurs commises sont dues aux modèles eux-mêmes.

## REFERENCES

- [1] M. Capderou, '*Atlas Solaire de l'Algérie*', Modèles Théoriques et Expérimentaux, Tome 1, Vol. 1-2, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987.
- [2] F. Kasten, '*The Linke Turbidity Factor Based on Improved Values of the Integral Rayleigh Optical Thickness*'. Solar Energy, Vol. 56, N° 3, pp. 239 – 244, 1996.
- [3] A. Moumami, N. Hamani, N. Moumami et Z. Mokhtari, '*Estimation du Rayonnement Solaire par Deux Approches Semi Empiriques dans le Site de Biskra*'. 8<sup>ème</sup> Séminaire International sur la Physique Energétique. SIPE'2008, Béchar, Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.
- [4] M.R. Yaïche et S.M.A. Bekkouche, '*Conception et Validation d'un Programme Sous Excel pour l'Estimation du Rayonnement Solaire Direct en Algérie. Cas d'un Ciel Clair*', Revue Internationale d'Héliotechnique, N°39, pp. 50 – 55, 2009.
- [5] M.R. Yaïche et 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 Totalement Clair*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°3, pp. 423 – 436, 2008.
- [6] M R. Yaïche, '*Logiciel de Calcul des Paramètres Astronomiques à l'Usage des Installations Solaires*', Revue des Energies Renouvelables, ICRESO\_07, pp. 343 – 348, Tlemcen, 2007.
- [7] A. Mefti, M.Y. Bouroubi et A. Khellaf, '*Analyse Critique du Modèle de l'Atlas Solaire de l'Algérie*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 2, pp. 69 – 85, 1999.
- [8] M. Koussa, '*Détermination du Gisement Solaire Alger - Bouzaréah*', Thèse de Magister, CDER, Alger, Mars 1990.