

Estimation du rayonnement solaire global en Algérie pour différents types de ciel

Mohamed Redha Yaïche¹ et Sidi Mohammed El Amine Bekkouche²

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

² Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables
URAER, B.P. 88, ZI, Gara Taam, Ghardaïa, Algérie

(reçu le 20 Octobre 2010 – accepté le 25 Décembre 2010)

Résumé - La principale discipline à laquelle fait appel ce programme est l'estimation des irradiances solaires globales, directes et diffuses pour différents types de ciel. De l'approche théorique de Perrin de Brichambaut, valable seulement pour un ciel totalement clair, l'éclairement solaire incident sur une surface horizontale a été calculé. Concernant l'estimation des éclaircissements incidents pour différentes inclinaisons et orientations et cela pour un ciel totalement clair, le modèle de Liu & Jordan a été sélectionné. Pour la détermination du type de ciel, nous utilisons la notion de nébulosité, qui est la fraction du ciel caché par l'ensemble des nuages visibles. Les conditions nuageuses sont donc calculées principalement en utilisant le facteur K_c 'Cloud Attenuation Factor', défini par Kasten et al. 1980. L'expression de K_c nécessite que des valeurs mesurées, en unité 'Octas', comme on les trouve dans les postes de la météorologie. Le travail consiste en la détermination de la nébulosité en fonction de l'irradiation globale journalière mesurée sur surface horizontale. Des exemples de journées de différents types de ciel pour des sites de Ghardaïa et Bouzaréah-Alger ont été étudiés et présentés pour la validation et la confrontation des résultats expérimentaux. Dans l'ensemble, la concordance des résultats théoriques et expérimentaux s'avère satisfaisante. Par conséquent, ce programme peut être couplé à une interface professionnelle, pour être manipulable de façon conviviale par les utilisateurs de bureaux d'étude, et particulièrement les enseignants et les chercheurs.

Abstract – The principal discipline that this program uses is the estimation of global solar radiation, direct and diffuse of different types of skies. Through the theoretical approach of Perrin Brichambaut, valid for a completely clear sky, solar irradiance incident on a horizontal surface was calculated. Regarding the estimation of illumination for different incident angles and directions and that for a completely clear sky, the model of Liu & Jordan has been selected. For determining the type of sky, we used the concept of cloud cover, which is the fraction of sky obscured by all visible clouds. Cloudy conditions are calculated mainly using the factor K_c 'Cloud Attenuation Factor', defined by Kasten et al., 1980. The equation K_c requires that values measured in units, Octas, as found in the meteorological stations. The work involves the determination of cloud cover based on the measured daily global radiation on a horizontal surface. Examples of different days of different types of skies for the sites of Ghardaïa and Algiers-Bouzaréah were studied and presented for the validation and the comparison of experimental results. Overall, the correlation of theoretical and experimental results are satisfactory. Therefore, this program can be coupled with a professional interface to be manipulated by user friendly design offices, and especially teachers and researchers.

Mots clés: Programme de Calcul - Irradiation - Brichambaut - Liu & Jordan - Nébulosité - Type de ciel.

1. INTRODUCTION

La connaissance du rayonnement solaire est essentielle au calcul de diverses performances des systèmes liés au solaire, tels que les chauffe-eau solaires, les modules photovoltaïques, mais également pour la construction des bâtiments dans la perspective d'une meilleure isolation thermique adaptée au lieu géographique et aussi pour le chauffage de habitations et des locaux par de l'énergie solaire. Les exemples d'utilisation ne font que s'accroître au fil du temps. Cependant le développement de ces filières ne pourra se faire sans la connaissance approfondie du rayonnement solaire.

Imaginons que l'on veuille faire des installations tout en prenant compte du potentiel énergétique solaire du site. Quelles informations a-t-on besoin pour effectuer une étude préalable à la bonne mise en place de ces équipements afin d'optimiser leur performance ?

Lors de la traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est réduit, par diffusion moléculaire, par diffusion par les aérosols et par absorption par les molécules de gaz. Pierre Bessemoulin et Jean Olivieri ont estimé à environ 10 % à midi en été l'atténuation due à la diffusion moléculaire. L'atténuation due aux aérosols est beaucoup plus variable, typiquement entre 5 et 60 %, selon la hauteur du Soleil et la transparence de l'atmosphère [1].

La présence de nuages modifie sensiblement l'importance respective des rayonnements diffus et direct, les nuages jouant un rôle de milieu diffusant additionnel. On appelle albédo, le rapport entre énergie réfléchie et énergie incidente. L'albédo des nuages varie, typiquement de 0,4 à 0,9 selon leur nature, leur épaisseur, la hauteur du soleil, etc. Les nuages absorbent en outre une fraction du rayonnement solaire, mais celle-ci reste assez faible et ne dépasse pas 10 % de l'énergie incidente pour les nuages les plus épais [1].

Dans ces situations, le rayonnement solaire étant mesuré sur un nombre limité de sites à travers le monde, les données relatives à cette énergie ne sont pas toujours disponibles. L'utilisation de modèles et programmes de simulation est pratiquement le seul moyen de pallier à ce problème [2-4]. Au-delà, la connaissance de l'état de ciel et de la position du soleil à tout instant et en tout lieu est nécessaire pour le calcul et l'étude de l'énergie interceptée.

C'est pourquoi un programme de calcul des rayonnements sous EXCEL pour les 48 wilayas d'Algérie a été élaboré. L'intérêt de ce dernier consiste à générer des données calculées pour l'optimisation des systèmes solaires photovoltaïques et thermiques. Il montre aussi qu'il est possible de persuader les évolutions instantanées des irradiations diffuses, directes et globales pour différentes orientations et inclinaisons même si le ciel possède des perturbations nuageuses.

2. APPROCHE THEORIQUE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT

Le facteur de trouble atmosphérique permet de 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 exprimées par ce facteur [5 - 7].

Dans ce modèle, le facteur de trouble atmosphérique de Linke T_L^* par ciel clair est donné par la relation suivante:

$$T_L^* = T_0 + T_1 + T_2 \quad (1)$$

- T_0 représente le trouble dû à l'absorption gazeuse, tant par les constituants fixes de l'atmosphère que par l'ozone et surtout par la vapeur d'eau. Une modélisation de ce facteur en fonction des seuls paramètres géo-astronomiques a permis de proposer l'expression suivante:

$$A_{he} = \sin((360/365) \times (j - 121)) \quad (2)$$

$$T_0 = 2.4 - 0.9 \sin(\varphi) + 0.1(2 + \sin(\varphi)) \times A_{he} - 0.2z - (1.22 + 0.14A_{he})(1 - \sin(h)) \quad (3)$$

Où z est l'altitude du lieu, j le numéro du jour dans l'année, φ la latitude du lieu et h la hauteur du soleil.

- T_1 est le trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère (O_2 , CO_2 et O_3) et à la diffusion moléculaire de Rayleigh donné par l'approche:

$$T_1 = 0.89 \quad (4)$$

- T_2 est le trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une légère absorption (dépendant à la fois de la nature et de la quantité des aérosols).

En fonction du coefficient de trouble d'Angstrom β , T_2 est donnée par:

$$T_2 = (0.9 + 0.4 \times A_{he}) \times (0.63)^z \quad (5)$$

L'irradiation directe par ciel clair obtenue sur un plan horizontal est donnée par:

$$I = I_n \cos(i) = I_0 \times C_{t-s} \times \exp \left[-T_L^* \times \left(0.9 + \frac{9.4}{0.89^z} \times \sin(h) \right)^{-1} \right] \times \cos(i) \quad (6)$$

- I_0 représente la constante solaire qui est, par définition le flux énergétique reçu par une surface unité.

Dans notre cas, la valeur retenue pour la constante solaire est de 1367 W/m^2 .

- C_{t-s} est la correction terre – soleil.

L'irradiation diffuse sur un plan horizontal est donnée par l'expression suivante:

$$D = I_0 \times \exp(-1 + 1.06 \times \log(\sin(h))) + a - \sqrt{a^2 + b^2} \quad (7)$$

Où: $a = 1.1 \quad (8)$

$$b = \log(T_L^* - T_0) - 2.8 + 1.02 \times (1 - \sin(h))^2 \quad (9)$$

L'irradiation globale reçue sur un plan horizontal est représentée par la relation suivante:

$$G = I + D \quad (10)$$

3. MODELE DE LIU & JORDAN

La relation de Liu & Jordan [8] généralisée est donnée sous la forme suivante:

$$G = S_h \times R_b + d_h \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + \rho \times (S_h + d_h) \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (11)$$

L'irradiation directe sur un plan incliné est exprimée par la relation (12) suivante:

$$S_i = S_h \times R_b \quad (12)$$

Où, le facteur d'inclinaison R_b du rayonnement direct est:

$$R_b = \frac{\cos(L - \beta) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) + \sin(L - \beta) \times \sin(\delta)}{\cos(L) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) + \sin(L) \times \sin(\delta)} \quad (13)$$

avec δ , la déclinaison du soleil, ω , l'angle horaire, L , la hauteur du soleil et β l'inclinaison du plan.

L'expression suivante représente l'irradiation diffuse sur plan incliné:

$$d_i = d_h \times \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad (14)$$

D'autre part, l'irradiation réfléchie sur plan incliné peut être exprimée par la relation suivante:

$$d_{re} = \rho \times (S_h + d_h) \times \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (15)$$

4. LA NEBULOSITE

La nébulosité est un terme souvent employé en météorologie. La nébulosité, ou couverture nuageuse, est l'obscurcissement du ciel par les nuages ou bien la fraction du ciel couverte par les nuages (fonction du genre, de l'espèce, de la variété) au-dessus d'une région. La nébulosité devient donc une notion essentielle dans la prévision du temps, ainsi que sa variation. La nébulosité 'N' se mesure en octa.

L'octa permet d'évaluer la couverture nuageuse du ciel, et correspond à une fraction de 1/8 de la voûte céleste. Les conditions nuageuses ont été mesurées en utilisant le facteur 'Cloud Attenuation Factor' K_c , défini par Kasten *and al.*, 1980. L'équation de K_c ne nécessite donc que des valeurs mesurées en octa. [1, 9-15].

5. DEMONSTRATION DE L'INTERFACE DU PROGRAMME

Le programme a une interface simple et conviviale, basée sur des fenêtres, des icônes et des menus. Le programme de base, faisant qui fait la gestion de cette interface, comporte une description de toutes les applications graphiques disponibles. Ces applications se trouvent réparties dans plusieurs répertoires suivant leurs types d'utilisation (Fig. 1).

Il permet à l'utilisateur d'introduire le numéro du jour dans l'année, de visualiser la position de la terre par rapport au soleil et sa déclinaison, de 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 [5-7].

La visualisation des icônes est indispensable à leur utilisation. L'affichage des tableaux et la visualisation instantanée des courbes permettent généralement de mieux se rendre compte des paramètres d'entrée et de sortie, au cours du temps.

La figure 2 apporte de nombreuses informations. Ce programme de calcul constitue la gamme la plus complète pour créer diverses d'interfaces conversationnelles. Il réduit le temps d'exécution, et permet aux utilisateurs de mieux appréhender l'information et de réagir vite.

A tout moment, l'interface peut être consultée en utilisant les boutons désignés sur la figure 2. En appuyant sur ces boutons, des courbes, des tableaux et des images apparaîtront et d'autres interfaces vont s'ouvrir en vous proposant chaque fois d'enregistrer les résultats.

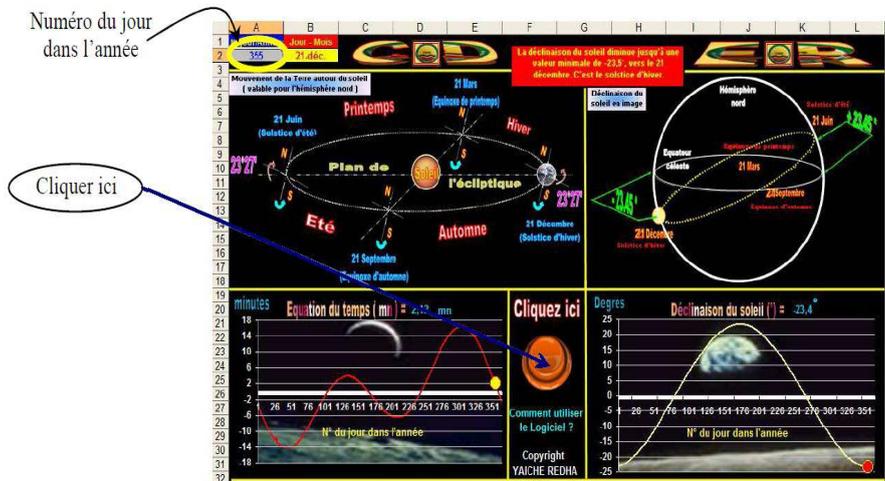


Fig. 1: Interface graphique donnant: la position de la terre par rapport au soleil, la déclinaison du soleil, le numéro du jour et du mois et l'équation du temps appropriée

Il est possible aussi de revenir à l'interface de la figure 1 en cliquant sur 'Numéro du jour dans l'année' afin de changer la date. Pour bien connaître l'influence du soleil, il faut bien sûr connaître à tout instant la position du soleil dans le ciel. Cette information est indispensable pour le calcul des apports solaires.

En quelque sorte, pour repérer cette position, deux coordonnées sont indispensables, à savoir: l'azimut du soleil et la hauteur du soleil. Ils sont calculés par ce programme avec un pas de cinq minutes et en temps solaire vrai TSV (Fig. 3).

L'azimut solaire est donc l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre entre le point cardinal Sud (dans l'hémisphère Nord) ou Nord (dans l'hémisphère Sud) et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil. La mesure de cet angle est effectuée en utilisant les projections sur le plan horizontal du point d'observation.

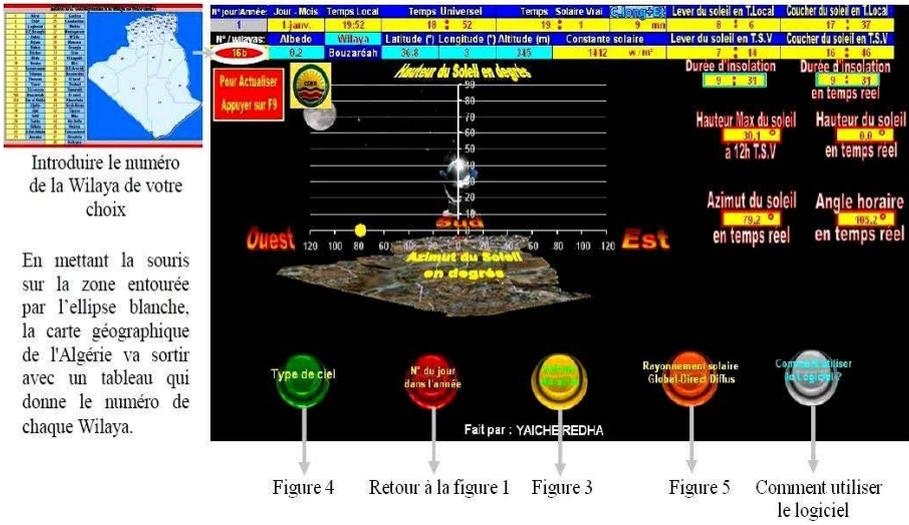


Fig. 2: Interface permet de choisir la fenêtre ou le lien associé

L'azimut solaire est négatif le matin (direction Est), nul ou égal à 180° à midi et positif l'après-midi (direction Ouest), sur tout le globe.

La hauteur du soleil est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal.

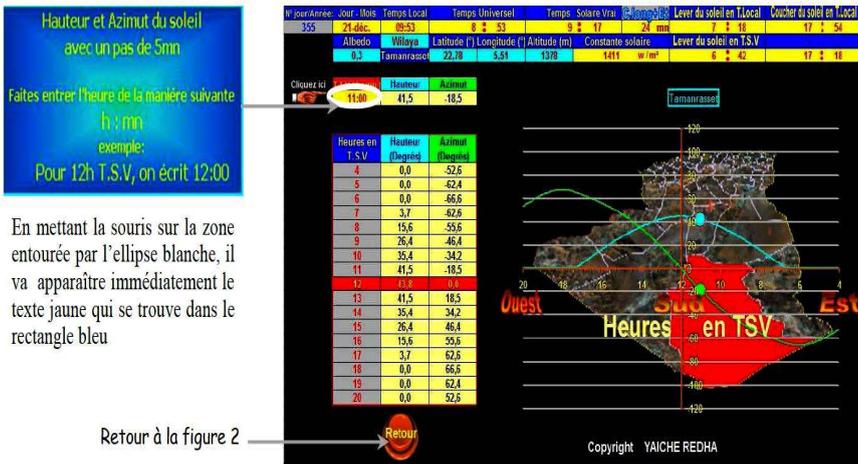


Fig. 3: Interface permettant de donner toutes les cinq minutes, les valeurs de l'azimut et de la hauteur en degrés et cela, en temps solaire vrai. Le tableau donne uniquement les valeurs horaires.

La quantité d'énergie solaire varie en fonction des conditions météorologiques et des lois astronomiques qui déterminent entre autres le déroulement des saisons.

La figure 4 représente l'interface graphique, permettant l'introduction de l'irradiation journalière globale mesurée sur une surface horizontale afin de déterminer le type de ciel, ainsi que l'erreur relative commise sur l'irradiation journalière globale calculée sur un plan horizontal.

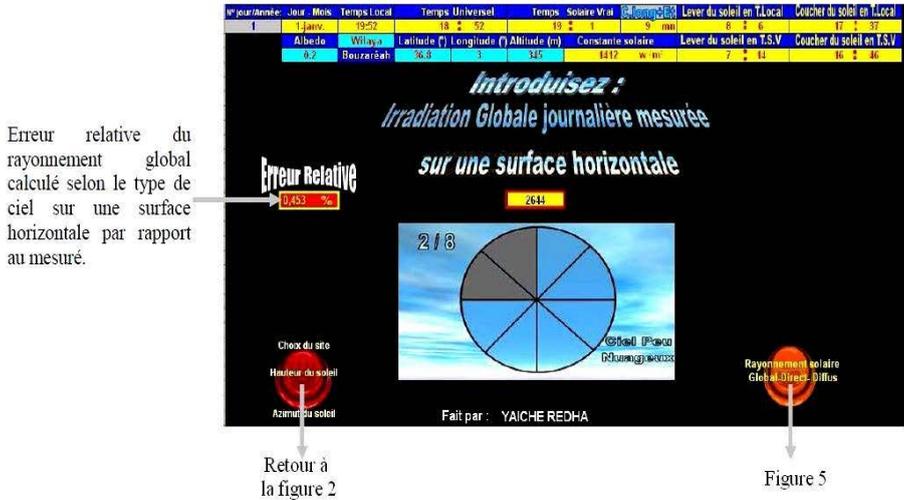


Fig. 4: Interface permettant l'introduction de l'irradiation globale journalière mesurée sur une surface horizontale et du type de ciel

L'interface représentée par la figure 5 permet de calculer et de tracer à la fois, l'irradiation directe, diffuse et globale pour une orientation et inclinaison quelconque pour différents types de ciel.

Cette démarche donne également l'inclinaison optimale du capteur, les valeurs instantanées et les valeurs maximales du rayonnement solaire à 12:00 TSV.

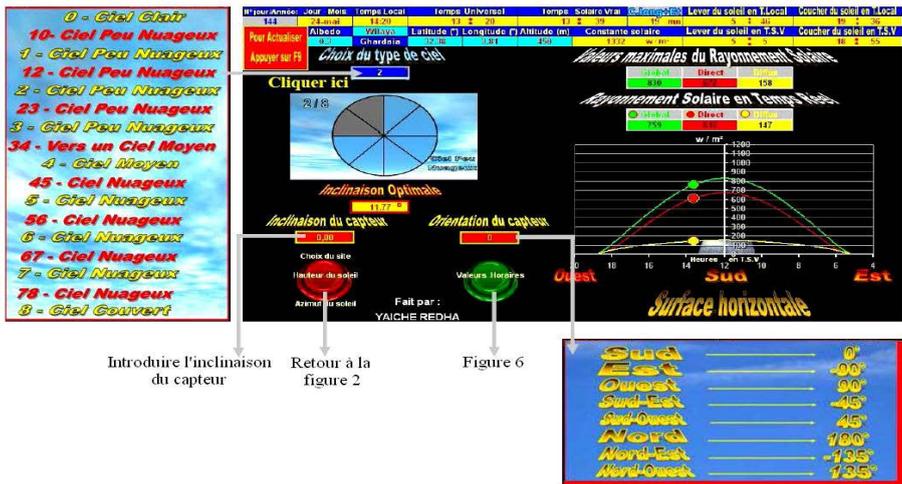


Fig. 5: Interface graphique permettant l'introduction du type de ciel, de l'inclinaison et de l'orientation du capteur

La figure 6 est une interface dont les automatismes sont destinés aux résultats calculés, et plus particulièrement les irradiations globales, diffuses et directes horaires, journalières et avec un pas de cinq minutes.

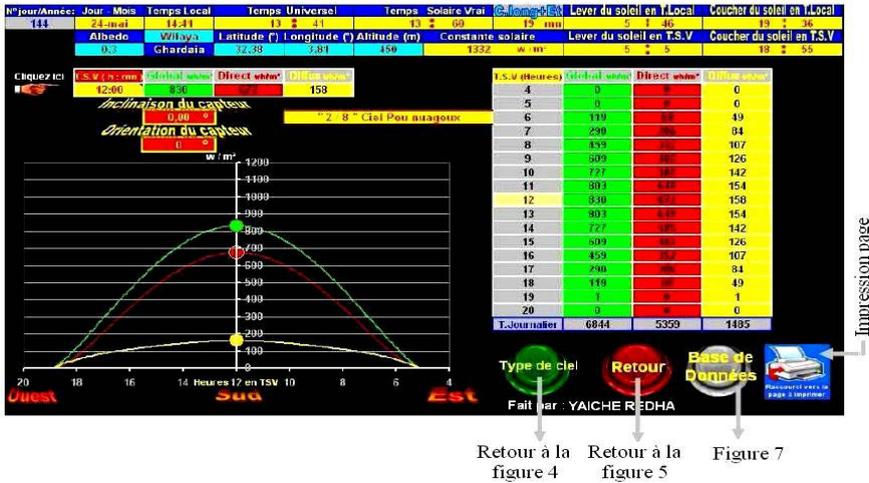


Fig. 6: Interface graphique donnant le tableau irradiations globales, diffuses et directes horaires, journalières et calculées avec un pas de cinq minutes

La figure 7 donne une vue synthétique de la base de données, représentant un lot de résultats stockés, organisés et structurés, de manière à les manipuler facilement. Il s'agit des paramètres suivants: hauteur et azimut du soleil, différentes irradiations (globale, diffuse et directe), calculés avec un pas de cinq minutes.



Fig. 7: Interface graphique représentant un tableau des irradiations globales, diffuses et directes horaires, journalières et calculés avec un pas de cinq minutes

La démarche de vérification consiste notamment à utiliser les rayonnements solaires direct et diffus calculés sur une surface horizontale pour un ciel totalement clair. A titre indicatif, si on suppose que le ciel est nuageux (6/8 Octas), on multiplie le direct par 6/8 et le diffus par son inverse 8/6 pour effectuer la somme des deux composantes pour l'obtention du rayonnement global horizontal, afin de retrouver et de confirmer ce type de ciel.

Du point de vue technique, ces diverses interfaces sont un ensemble de fonctions et procédures; elles ont été développées de manière interactive afin d'aider les utilisateurs à une compréhension meilleure pour l'utilisation de ces résultats.

6. EXEMPLES D'APPLICATION

L'objectif est de permettre au lecteur d'apprécier l'intérêt de ce programme en mettant en commun deux aspects (théorie et expérimentation), alliant ainsi la similitude.

Ce programme de calcul est adopté en faisant le choix de deux approches théoriques, pour l'estimation des irradiances incidentes sur un plan horizontal. Nous avons utilisé le modèle de Perrin de Brichambaut qui reste valable pour un ciel totalement clair.

A partir de ces résultats, nous avons pu calculer le rayonnement solaire global pour tout type de ciel. Le modèle numérique de Liu & Jordan a été choisi pour la détermination des irradiances solaires inclinées. Nous procéderons à ce choix, car de nombreuses études [2-6] menées par de nombreux chercheurs soulignent et attestent que ces deux approches donnent généralement de bons résultats.

Deux sites ont été choisis, Alger-Bouzaréah (Centre de Développement des Energies Renouvelables CDER) et Ghardaïa (Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER), appartenant à des régions de climats et de régimes radiatifs très différents. Le premier est du type Méditerranéen et le second du type Saharien avec une forte persistance des journées de beau temps tout au long de l'année.

Le programme est utilisé pour confronter les mesures expérimentales de l'irradiation solaire aux valeurs théoriques au niveau de ces deux sites. Il s'ensuit que des calculs d'incertitude permettent d'évaluer correctement les erreurs de modélisation.

L'erreur relative algébrique est par définition le quotient de l'erreur absolue à la valeur réelle:

$$\text{Err} = \frac{G_{\text{approché}} - G_{\text{réel}}}{G_{\text{réel}}} \quad (16)$$

Si cette erreur est positive, c'est parce que la valeur approchée est supérieure à la valeur exacte (on parlera d'une erreur par excès), et si elle est négative, c'est qu'elle est inférieure (erreur par défaut). En fait, il ne s'agit que d'un pourcentage d'augmentation (et respectivement de diminution) qui, lorsqu'on l'applique à la valeur exacte, donne la valeur approchée.

On se limitera à des cas simples où l'utilisation de la valeur absolue est préférée.

Lors de ces études, on se réfère aux stations radiométriques de l'URAER et du CDER. La figure 8 donne l'évolution instantanée de l'irradiation globale horizontale et inclinée à la latitude de lieu 36.8° mesurée au CDER pour la journée du 01 Janvier 2005.

L'irradiation journalière globale mesurée sur une surface horizontale, est égale à 2344 Wh/m², alors que la valeur calculée par le programme est de 2359 Wh/m². Par conséquence, l'erreur relative commise est de 0.64 %.

Le type de ciel, l'erreur relative commise et l'irradiation journalière globale calculée sont ainsi déduits aisément en introduisant que l'irradiation journalière globale mesurée sur une surface horizontale.

En outre, l'irradiation journalière globale mesurée sur une surface inclinée à 36.8° est égale à 3783 Wh/m^2 , alors que la valeur calculée par le programme est de 3927 Wh/m^2 , et donc l'erreur relative est égale à 3.81% .

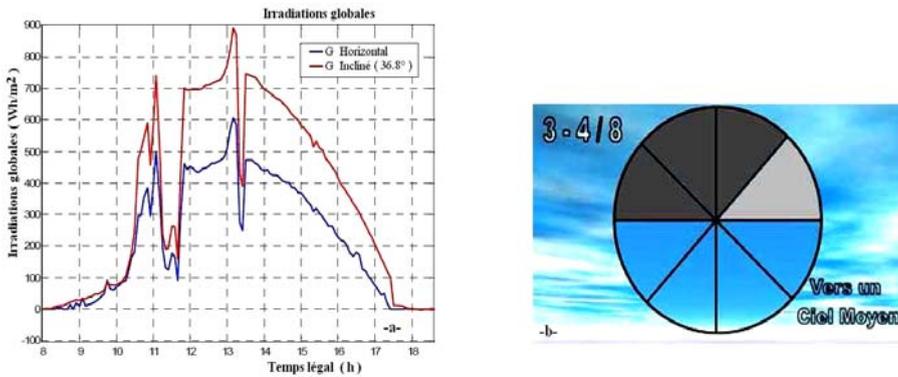


Fig. 8: a- Irradiations solaires mesurées, b- Type de ciel, CDER (01/01/2005)

Le comportement des irradiations globales horizontales et inclinées à la latitude du lieu pendant la journée du 22 Mars 2006 au CDER est représenté par la figure 9.

L'irradiation journalière globale mesurée sur une surface horizontale, est égale à 4155 Wh/m^2 , alors que la valeur calculée par le programme est de 4190 Wh/m^2 . Par conséquence, l'erreur relative commise est égale à 0.835% .

Cependant, l'irradiation journalière globale mesurée sur une surface inclinée à 36.8° est égale à 4418 Wh/m^2 , alors que la valeur calculée par le programme est de 4709 Wh/m^2 , et donc l'erreur relative est de 6.59% .

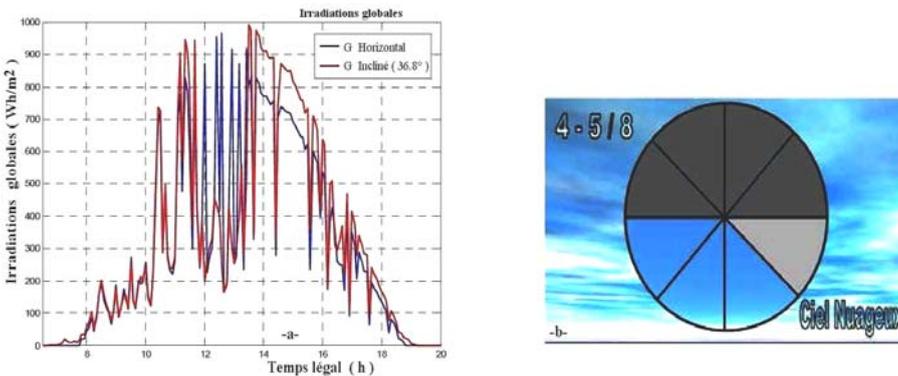


Fig. 9: a- Irradiations solaires mesurées, b- Type de ciel, CDER (22/03/2006)

La figure 10 donne l'évolution instantanée de l'irradiation globale horizontale et inclinée à 32° mesurée à l'URAER pour la journée du 06 Octobre 2010.

L'irradiation journalière globale mesurée sur une surface horizontale, est égale à 4898 Wh/m^2 , alors que la valeur calculée par le programme est de 4891 Wh/m^2 . Par conséquence, l'erreur relative commise est de 0.14% .

En effet, l'irradiation journalière globale mesurée sur une surface inclinée à 32° est égale à 5965 Wh/m², alors que la valeur calculée par le programme est de 5942 Wh/m², l'erreur relative est donc égale à 0.39 %.

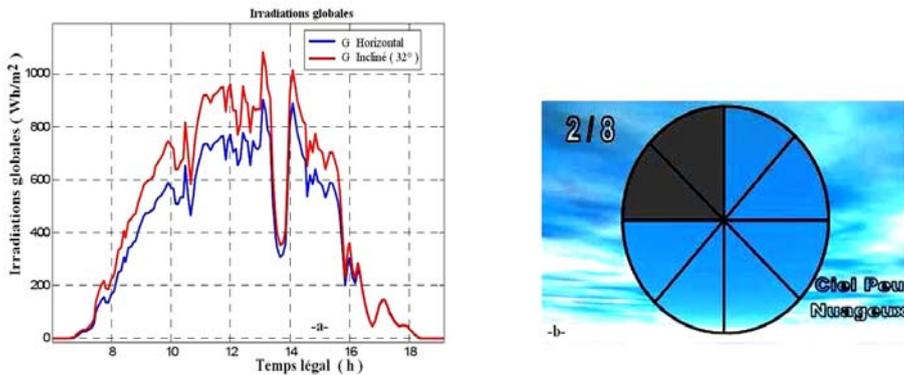


Fig. 10: a- Irradiations solaires mesurées, b- Type de ciel, URAER (06/10/2010)

La figure 11 donne la variation de l'irradiation globale horizontale et inclinée à 32° mesurée à l'URAER pour la journée du 07 Mai 2010.

L'irradiation journalière globale mesurée sur une surface horizontale, est égale à 7113 Wh/m² cette fois ci, alors que la valeur calculée est de 7025 Wh/m². L'erreur relative commise est égale à 1.239 %.

Tandis que, l'irradiation journalière globale mesurée sur une surface inclinée à 32° est égale à 6985 Wh/m², alors que la valeur calculée est égale à 6633 Wh/m², donc l'erreur relative est de l'ordre de 5 %.

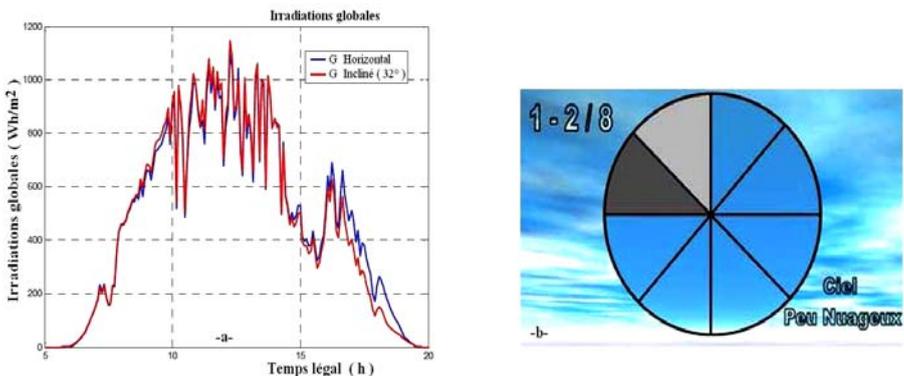


Fig. 11: a- Irradiations solaires mesurées, b- Type de ciel, URAER (07/05/2010)

Dans le cas d'un ciel totalement couvert (8/8) et si on trouve que l'erreur relative est supérieure à 20 %, à titre indicatif, celle-ci est due au rayonnement direct car dans le programme, le direct horizontal est égal à zéro. Or que réellement, il pourrait se présenter avec une irradiation journalière faible.

7. CONCLUSION

Le programme de calcul conçu assure l'automatisation des tâches sous forme de schémas, de tableaux et de graphes. C'est un programme intuitif (méthodes de Perrin de Brichambaut et de Liu & Jordan) qui fonctionne en intégrant les paramètres d'entrée dans l'environnement de Microsoft Excel et qui est maintenant familier et laisse donc la possibilité aux utilisateurs de personnaliser leurs résultats.

Son intérêt consiste principalement à la connaissance de l'état du ciel et à l'estimation des données dans le cadre de l'optimisation des systèmes solaires photovoltaïques et thermiques, tels que: les systèmes à concentration et les systèmes de poursuite solaire.

A travers cette étude, nous avons apporté une analyse sur la fiabilité de notre programme réalisé permettant de confirmer le type de ciel à partir du rayonnement solaire global mesuré sur un plan horizontal.

On atteste que la nébulosité (quantité de nuages dans le ciel) influe sur le rayonnement solaire. Le recours à la simulation numérique permet d'explorer le comportement d'un modèle, mais aussi d'obtenir des résultats pour différents sites qui seront comparés aux données expérimentales.

Dans tous les cas, le modèle peut être amélioré ou remis en question; son lieu et domaine de validité peuvent être clairement perçus.

Les valeurs calculées montrent que la comparaison est acceptable. En effet, cette confrontation entre les données recueillies et les résultats nous amène à voir que le cadre théorique retenu est une grille d'analyse performante. Toutefois, certaines mesures sont infaisables.

Pourquoi refuser toute possibilité de connaissance de ces travaux autrement que par la lecture de documents ? La simulation se révèle là tout à fait irremplaçable. Le programme réalisé par exemple, permet l'observation des comportements, l'élaboration de protocole expérimental, de l'appliquer, de consigner les résultats, de construire un modèle explicatif...

REFERENCES

- [1] P. Bessemoulin et J. Oliiviéri, '*Le Rayonnement Solaire et sa Composante Ultraviolette*', Physique Atmosphérique, La Météorologie, 8^{ème} Série, N°31, Septembre 2000.
- [2] M.R Yaïche et S.M.A Bekkouche, '*Conception et Validation d'un Logiciel sous Excel pour la Modélisation d'une Station Radiométrique en Algérie. Cas d'un Ciel Totalement Clair*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 12, N°4, pp. 677 – 688, 2009.
- [3] 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.
- [4] M.R Yaïche, '*Logiciel de Calcul des Paramètres Astronomiques à l'Usage des Installations Solaires*', Revue des Energies Renouvelables, 'ICRES-07', Tlemcen, Algérie, pp. 343 – 348, 2007.
- [5] M. Capderou, '*Atlas Solaire de l'Algérie*', Tome 1, Vol. 1 et 2: Modèles Théoriques et Expérimentaux, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987.
- [6] 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, N°2, pp. 69 - 85, 1999.

- [7] 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.
- [8] A Moumami, N. Hamani, N. Moumami et Z. Mokhtari, 'Estimation du Rayonnement Solaire par Deux Approches Semi Empiriques dans le Site de Biskra', 8^{ième} Séminaire International sur la Physique Énergétique, SIPE'8, Centre Universitaire de Béchar, Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.
- [9] M. Bindi and F. Miglietta, 'Estimating Daily Global Radiation from Air Temperature and Rainfall Measurements', *Climate Research*, Vol. 1, pp. 117 – 124, 1991.
- [10] F. Kasten and G. Czeplak, 'Solar and Terrestrial Radiation Dependent on the Amount and Type of Cloud', *Solar Energy*, Vol. 24, N°2, pp. 177 - 189, 1980.
- [11] M.A. Atwater and J.T. Ball, 'A Numerical Solar Radiation Model Based on Standard Meteorological Observations', *Solar Energy*, Vol. 21, pp. 163 – 170, 1978.
- [12] I. Bennet, 'Correlation of Daily Insolation with Daily Total Sky Cover, Opaque Sky Cover, and Percentage of Possible Sunshine', *Solar Energy*, Vol. 13, N°3, pp. 391 - 393, 1969.
- [13] R. Dogniaux et M. Lemoine, 'Programme de Calcul des Eclairéments Solaires Énergétiques et Lumineux des Surfaces Orientées et Inclinées', I.R.M. Misc. Serie C, N o. 14, 1976.
- [14] R. Dogniaux and M. Lemoine, 'Classification of Radiation Sites in Terms of Different Indices of Atmospheric Transparency', In: W. Palz, (Ed.) *Solar Radiation Data*, Series F, Vol. 2, Reidel Publishing Company, Dordrecht, pp. 94 – 105, 1982.
- [15] K. Kimura and D.G. Stephenson, 'Solar Radiation on Cloudy Days', *ASHRAE Transactions*, Vol. 75, pp. 227 - 234, 1969.