

Estimation et Cartographie des Différentes Composantes du Rayonnement Solaire au Sol à Partir des Images Météosat

N. Bachari, N. Benabadji, A. Razagui et A. H. Belbachir

Laboratoire d'Analyse et d'Application du Rayonnement, Département de Physique
U.S.T.Oran, B.P. 1505 El M'Naouer, Oran, Algérie

Résumé – L'extraction des différentes composantes de la radiation solaire à partir des images satellites dépend étroitement de la connaissance exacte de la couverture nuageuse d'un pixel donné. En premier lieu, nous transformons les images satellites brutes en images ennuagement. Une nouvelle relation de l'ennuagement est établie, elle tient compte du contraste des radiances mesurées en infrarouge et des albédo calculés dans le visible. La méthode développée pour l'extraction des radiations solaires à partir des images consiste à adapter des modèles classiques aux modèles qui s'appliquent à la fois aux données sols et satellitaires. L'étude comparative entre les radiations calculées à partir des images satellites et les radiations mesurées au sol pour les deux pixels Oran (35°24, -0°36) et Tamanrasset(22°28, 7°35) montre qu'il est possible d'estimer l'irradiance globale avec une erreur moyenne 4 %, l'irradiance directe est estimée avec une erreur qui n'atteint pas 15 % et l'irradiance diffuse avec des erreurs parfois abérantes qui atteignent les 26 %.

Abstract – Used the satellite imagery for extraction a different solar radiation reaching the soil depends closely on the exact knowledge of the cloud cover of a pixel given. In the first step, we transformed the satellite imagery in ennuagement imagery. We have developed a new relation of ennuagement, which holds in accounts, the contrast between a different albedo. In the second step, we developed a statistical model, which enabled us to extract the various solar radiation components from satellite imagery. To validate the study we compared the irradiances calculated starting from the satellite images and the irradiances measured on the ground for the two pixels Oran (35°24, -0°36) and Tamanrasset(22°28, 7°35) shows that it is possible to consider the radiation total with an average error 4%, direct radiation is estimated with an error which does not reach 15 %, but the model gives errors enough large for the diffuse radiation and which takes the following values 26 %.

Mots clés: Albédo - Ennuagement - Images satellitaires - Données sol – Images à potentiel énergétiques - Cartes solaires.

1. INTRODUCTION

La cartographie du bilan d'énergie à l'interface sol-atmosphère est nécessaire pour la gestion optimale des ressources naturelles. Les cartes solaires sont établies soit à partir des mesures radiométriques au sol, soit à partir des mesures climatiques ou en fonction d'une hypothèse de répartition zonale pour les régions sans réseau des mesures radiométriques et climatiques. L'Algérie est un pays vaste, sa topographie est accidentée, son climat variant du Sud vers le Nord et son réseau de mesures radiométriques est de faible densité, ce qui rend les techniques citées non pratiques pour la cartographie et les irradiances solaires. L'image satellite par sa fréquence (une image par demi-heure) et sa couverture spatiale (toute l'Afrique et l'Europe) se présente comme le moyen le plus pratique pour le suivi spatio-temporel des différentes composantes du rayonnement solaire. Les modèles développés pour l'extraction des irradiances solaires à partir des images sont classés en deux catégories, les modèles statistiques [1-3] et les modèles physiques [4-6] sont généralement développés pour la cartographie du rayonnement global.

Dans ce travail, nous proposons une méthodologie pour la cartographie des différentes composantes du rayonnement solaire en se basant sur la transformation des images brutes en images ennuagement. Les images ennuagement sont transformées en images de potentiel énergétique à différents niveaux de gris.

2. DONNEES

Pour élaborer ce travail, nous avons utilisé les images du satellite européen Météosat et des données radiométriques acquises au sol par deux stations en Algérie.

2.1 Images satellites

L'image météosat, se présente sous forme d'une matrice numérique, à chaque pixel de coordonnées (x, y) est attribuée un compte numérique $CN(x, y)$ codée sur 8 bits. Le satellite Météosat est un satellite géostationnaire qui observe le disque terrestre (Afrique et Europe) dans les trois bandes spectrales, visible, vapeur d'eau et infrarouge.

2.1.1 Images météosat B1

Le format B1 est composé de 5000 x 5000 pixels pour tout le disque terrestre couvrant l'Europe et l'Afrique, et transmis chaque demi-heure. Elles sont captées au niveau de la station radiométrique de l'Office National de Météorologie. Les images utilisées dans notre application une fenêtre de 512 x 512 pixels couvrant le grand Mahreb et le sud de l'Europe (Fig. 1). La banque d'images utilisées contient deux mois de l'année 1998 et trois mois de l'année 2000.

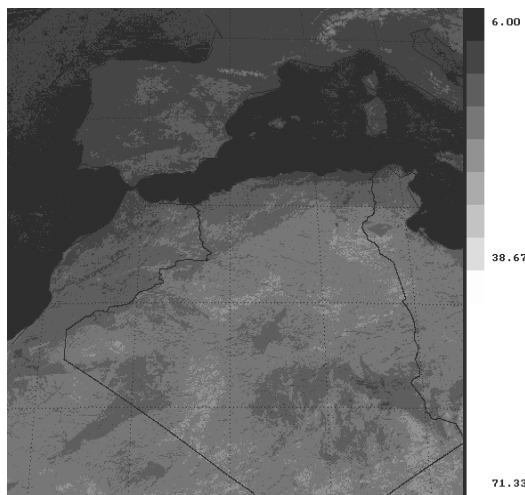


Fig.1: Format B1
fenêtre de (512x512) pixels

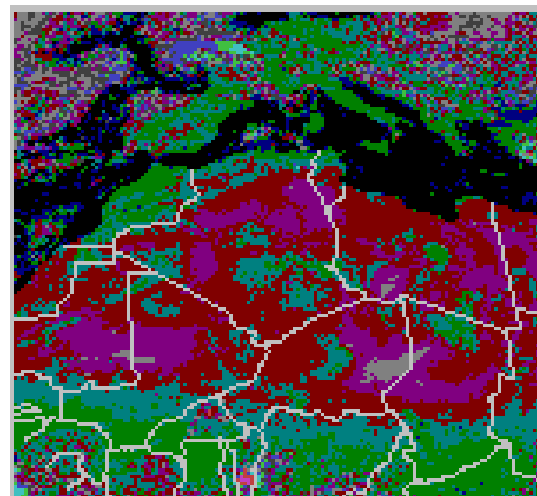


Fig.2: Format B2
fenêtre de (150x150) pixel

2.1.2 Images météosat B2

Pour des raisons de stockage et de création d'une banque d'images à long terme les images B1 sont transformées en images B2. Ces images présentent tout le disque terrestre Europe et Afrique en 412 x 412 pixels. La figure 2 représente une fenêtre de taille 150x150 pixels d'une scène B2 et qui couvre la moitié de l'Afrique et une grande partie de l'Europe. Les images B2 utilisées dans notre étude présente toute l'année 1986 et les trois premiers mois de 1987.

2.2 Données sol

Les stations radiométriques d’Oran (35°24, -0°36) et de Tamanrasset (22°28, 7°35) effectuent des mesures horaires pour les différentes composantes du rayonnement total G, du rayonnement diffus D, du rayonnement direct I et de l’insolation S, ainsi que la mesure du trouble atmosphérique de Link T. Les différentes grandeurs sont mesurées à chaque heure et sont éditées sous format texte, facile à manipuler et à traiter.

3. MODELISATION

Dans les modèles classiques, les paramètres clés pour déterminer la radiation solaire au sol sont le potentiel radiatif à ciel clair et la fraction d’insolation. Par analogie entre les modèles classiques et les modèles satellitaires, le paramètre clé est le taux de couverture d’un pixel par les nuages défini par le facteur Ennuagement [7].

3.1 Calcul d’ennuagement

La radiation captée par le satellite pour le même pixel est une combinaison de deux composantes :

- i) radiance réfléchie par les nuages qui lui correspond un compte numérique maximal CN_{max} ;
- ii) radiance réfléchie par le sol à ciel clair qui lui correspond un compte numérique minimal CN_{min} .

Supposons que $N(j, h)^*$ représente le taux de couverture d’un pixel par les nuages, le compte numérique d’un pixel donné pour le jour j et l’heure h est :

$$CN(j, h) = N(j, h)^* CN_{max} + (1 - N(j, h)^*) CN_{min} \tag{1}$$

Nous tirons le facteur $N(j, h)^*$:

$$N(j, h)^* = \frac{CN(j, h) - CN_{min}}{CN_{max} - CN_{min}} \tag{2}$$

Pour calculer l’ennuagement d’un pixel, nous devons calculer l’image de brillance minimale et l’image de brillance maximale.

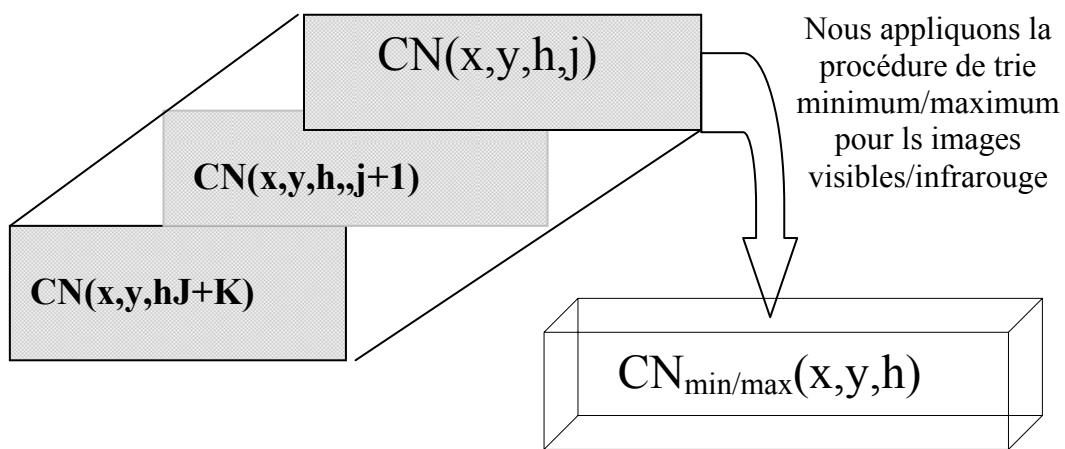


Fig. 3: Algorithmme de tri est appliqué sur un mois d’images. Pour chaque pixel nous retenons le compte numérique minimal / maximal. L’image résultante est une image composite des radiances non prises pour les mêmes jours.

L'algorithme de tri des valeurs minimales et maximales d'un vecteur est appliqué sur un ensemble d'images et pour tous les pixels (Fig. 3). Dans le cas des images infrarouge, la brillance minimale correspond à une couverture par les nuages et la brillance maximale correspond à l'état ciel clair et dans le cas des images captées dans le visible, l'inverse est vrai.

3.2 Correction de l'ennuageement par analyse bispectrale

L'analyse d'une série de trois mois d'images, nous a permis de constater que pour des situations d'un ciel clair durant tout le mois ou d'un ciel couvert par des nuages chaud (température du sommet est supérieure ou égale zéro degré) l'utilisation de la relation (2) donne des valeurs aberrantes pour N^* .

La difficulté majeure pour une évaluation précise de l'ennuageement en utilisant une analyse monospectrale réside dans le fait que l'albédo des sols couverts par la neige fraîche est égale à l'albédo des nuages et que la température des zones désertiques durant tout un mois fluctuent autour des valeurs moyennes. La détermination de l'albédo s'effectue à partir des images captées dans le visible et l'analyse des températures s'effectue dans l'infrarouge. Il devient nécessaire de combiner les images infrarouge et les images visible pour améliorer la procédure de détection des nuages. L'analyse bispectrale nous a conduit à ajuster la relation (2) en utilisant le contraste entre les radiances mesurées en infrarouge et les différents albédo (α_s l'albédo du sol, α_n l'albédo du nuage) calculées à partir des images du visible.

$$N(j,h) = \left(1 - \frac{\alpha_s}{\alpha_n}\right) \cdot N(j,h)^* \quad (3)$$

$N(j,h) \in [0\%, 100\%]$, 0% en cas du ciel clair et 100% en cas du ciel nuageux (Fig. 4).

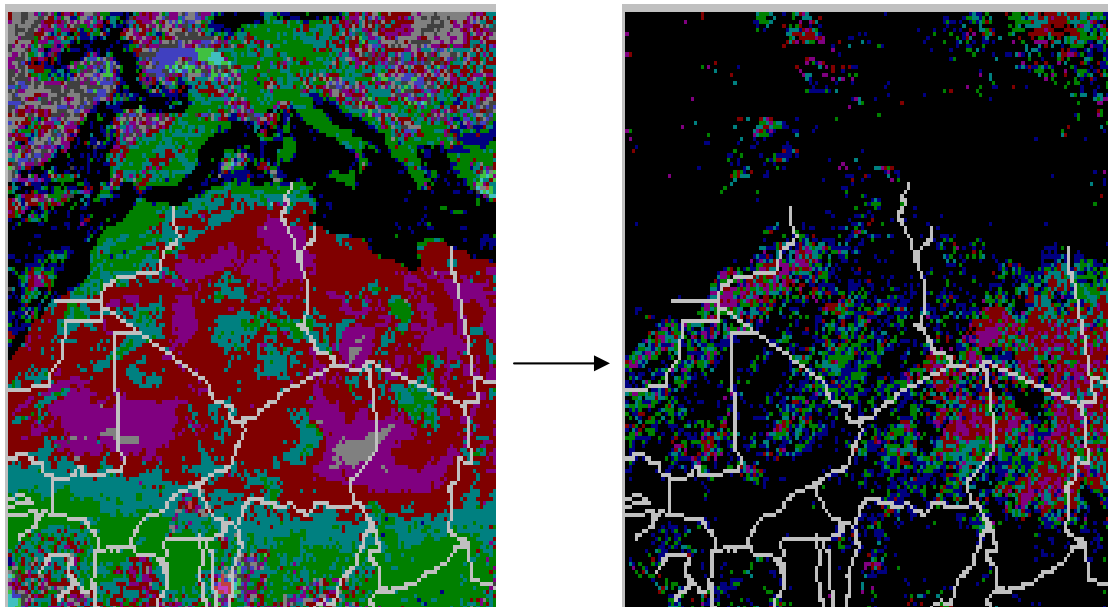


Fig.4: Image brute transformée en image ennuageement
Le logiciel est géo référencié - Il trace les frontières des différents pays africains.

3.3 Calcul des radiations

Plusieurs modèles spectraux et paramétriques sont développés par les chercheurs pour calculer les différentes composantes du rayonnement solaire au sol à ciel clair [7]. Dans notre cas, nous retenons le modèle proposé par l'WMO (World Meteorological Organization) [8].

Ce modèle est valable pour les régions des basses et des moyennes latitudes, ce qui est le cas de notre zone d'étude. La présence des nuages dans la double trajectoire du rayonnement soleil-sol et sol-satellite est très complexe pour la mettre en évidence, nous proposons une approche statistique pour corriger un modèle physique.

3.3.1 Irradiance diffuse

Dans le cas du ciel clair, le rayonnement diffus D_{skc} dépend du trouble atmosphérique, de la masse atmosphérique et de l'anisotropie du diffus. Le facteur d'anisotropie K joue le rôle d'un régulateur pour les faibles hauteurs du soleil [9]. En présence des nuages, l'irradiation diffuse qui atteint le sol augmente d'une façon non-linéaire avec le taux d'ennuagement. L'analyse statistique entre les données sol et l'ennuagement nous a donné la relation suivante:

$$D_n = D_{skc} (1 + 0.65 \cdot K \cdot N \cdot e^{2.5N}) \quad Wm^{-2} \quad (4)$$

Le paramètre K indique l'anisotropie du diffus qui est exprimé par la relation suivante :

$$K = \frac{\sin(\text{lat})}{C + \sin(\text{lat}) + (P - 1)(1 - Y)} \quad (5)$$

où : C est le ratio de la radiation diffuse sur la radiation directe à ciel clair, P le coefficient de clarté du ciel et Y est un polynôme du deuxième ordre en fonction de latitude de lieu.

$$C = \frac{D_{skc}}{I_{skc}} \quad (6a)$$

$$P = \frac{I_{skc}}{G_{skc}} \quad (6b)$$

$$Y = 0.309 - 0.137 \sin(\text{lat}) + 0.394 \sin^2(\text{lat}) \quad (7)$$

3.3.2 Irradiance globale

L'irradiance globale au sol G_{skc} dépend du trouble atmosphérique et la masse atmosphérique à ciel clair. En présence des nuages, l'irradiance globale au sol n'est que l'irradiance directe qui atteint le haut des nuages et diffusée par ces derniers en direction du sol. En présence des nuages brisés, l'irradiance globale au sol est la somme des deux parties selon le taux de couverture des pixels par les nuages. En se basant sur les travaux de Rashke et al. et d'Immamura et al. [10, 11] et par suite d'une analyse statistique des données mesurées au sol, nous proposons la relation suivante :

$$G_n = G_{skc} (1 - N) + I_{skc} K (1 - \exp(-0.225N)) \quad Wm^{-2} \quad (8)$$

3.4 Irradiance directe

L'irradiance directe qui atteint le sol est en fonction de l'irradiance directe à ciel clair I et d'ennuagement N . Dans le cas du ciel totalement couvert, l'irradiance directe est égale à zéro et en présence des nuages, elle diminue d'une façon considérable. Pour faciliter la tâche et pour donner un sens homogène au modèle tout simplement, nous avons calculé l'irradiance globale à partir des irradiances globale et diffuse.

$$I_n = \frac{G_n - D_n}{\cos(z_h)} \quad Wm^{-2} \quad (9)$$

3.5 Irradiance totale

Une partie de l'irradiance globale qui atteint le sol est réfléchi en direction de l'atmosphère et ce dernier réfléchit une partie du rayonnement en direction du sol et vise-versa. La réflexion multiple dépend de l'albédo du sol α_s , l'albédo sphérique A et l'albédo de la partie basse des nuages α_n . L'irradiance totale au sol dans le cas général est [12] :

$$G = \frac{G_n}{(1 + (1 - N) \alpha_s A) + N \alpha_s \alpha_n)} \quad (10)$$

3.6 Irradiance journalière

Le modèle est appliqué sur des images Météosat. L'intégration temporelle à différentes échelles des différentes composantes du rayonnement est très complexe vu le caractère aléatoire de l'ennuagement [13]. Pour calculer les irradiances journalières, nous proposons la relation suivante :

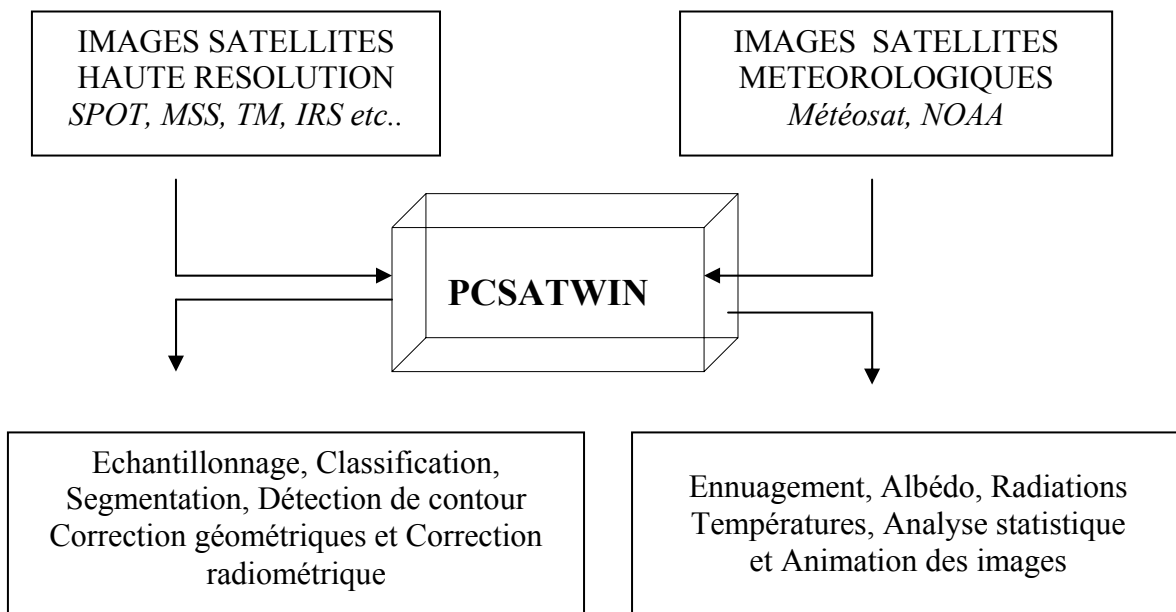
$$G_n^{\text{jour}} = \sum_{hl}^{10} G_n^{\text{horaire}}(N \text{ à } 09h) + \sum_{10}^{14} G_n^{\text{horaire}}(N \text{ à } 12h) + \sum_{14}^{hc} G_n^{\text{horaire}}(N \text{ à } 15h) \quad (11)$$

où : G_n^{jour} est l'irradiance journalière, G_n^{horaire} est l'irradiance horaire par ciel semi-couvert, hl et hc respectivement heure de levée et de couchée du soleil.

4. APPLICATION

4.1 Structure du logiciel développé

Pour réaliser notre travail, nous avons utilisé le logiciel PCSATWIN qui a pour objet le traitement et l'analyse des images satellites multispectrales. L'organigramme suivant illustre les grandes opérations que nous pouvons effectuer par le logiciel PCSATWIN [14].



4.2 Images des radiations

Le passage d'une image numérique en carte géographique de potentiel énergétique est possible après avoir correspondre pour chaque pixel ses coordonnées géographiques. Une

projection universelle qui utilise le rayon de la terre, l'altitude du satellite et le coefficient d'applatissage de la terre rend les images Météosat géoréférencées avec une erreur de 1 km qui ne présente que le tiers d'un pixel.

(ligne, pixel) ←————→ (Latitude, Longitude)

Les données des sorties du logiciel PCSATWIN sont des images légendées en 16 classes. Chaque pixel de l'image lui correspond les informations nécessaires (Fig. 5).

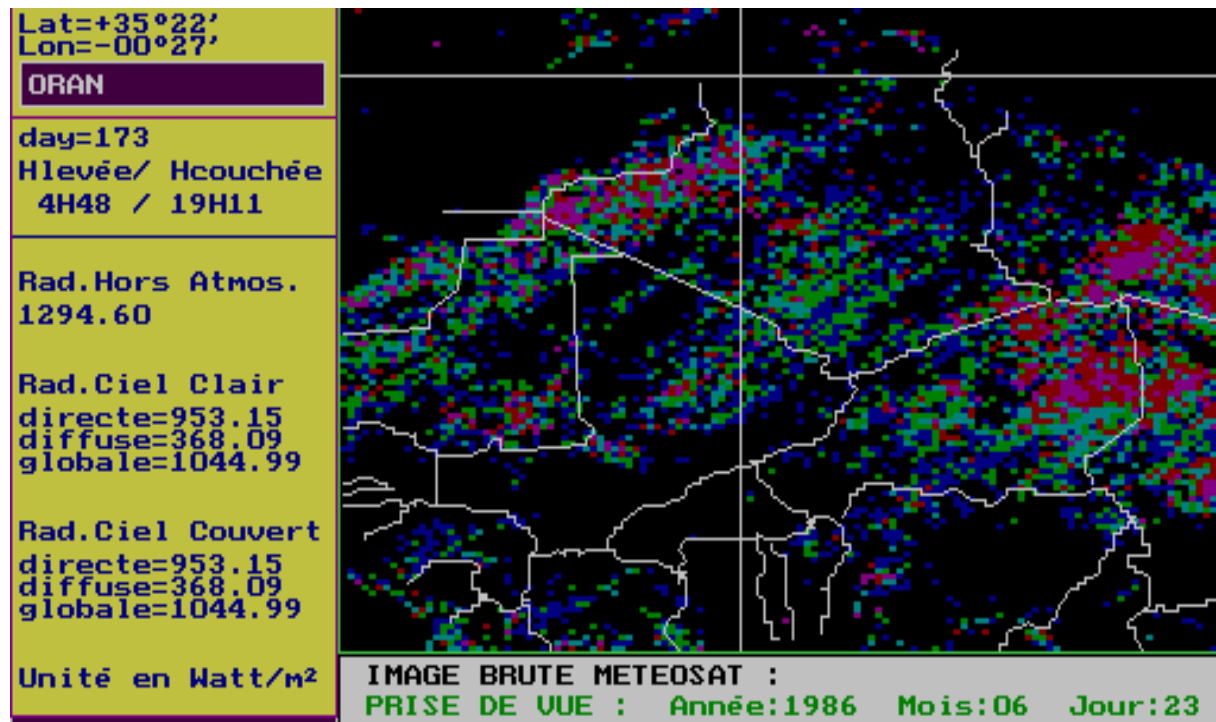


Fig.5: Le logiciel indique toutes les informations énergétiques et astronomiques pour un lieu donné

4.3 Interprétation

Pour illustrer les résultats, nous proposons trois images des différentes radiations journalières. Une interprétation visuelle des images est facile à réaliser, puisque les classes correspondent aux zones énergétiques et aux taux des nuages. L'image d'irradiance directe (Fig. 6) est indicatrice du taux de couverture des pixels par les nuages. La première classe (couleur noir) correspond à une très forte présence des nuages, par contre la classe blanche correspond à l'irradiance directe maximale et une faible présence des nuages. Pour justifier les résultats, il faut analyser l'image d'irradiance diffuse (Fig. 7) qui est le dual de l'image d'irradiance du direct. Les zones de fortes ennuagement leurs correspond des irradiances diffuses plus importantes par rapport à des zones à faible présence de nuages (Fig. 8). L'image d'irradiance globale a presque la même légende que celle de l'irradiance directe pour les zones sans couverture nuageuse et pour les zones de forte activité nuageuse, l'irradiance globale tend vers les valeurs d'irradiance diffuse. Pour les valeurs intermédiaires, une oscillation entre l'irradiance diffuse et l'irradiance directe est nettement perceptible dans l'image de l'irradiance globale. La figure 9 représente une autre possibilité que peut offrir le logiciel, elle représente les irradiances cumulées au sol. Dans ce cas, nous calculons l'irradiance globale, directe ou diffuse journalière pour chaque jour et puis la moyenne arithmétique de ces différentes valeurs à partir de la procédure CUMUL où le nombre de jours est un choix arbitraire.

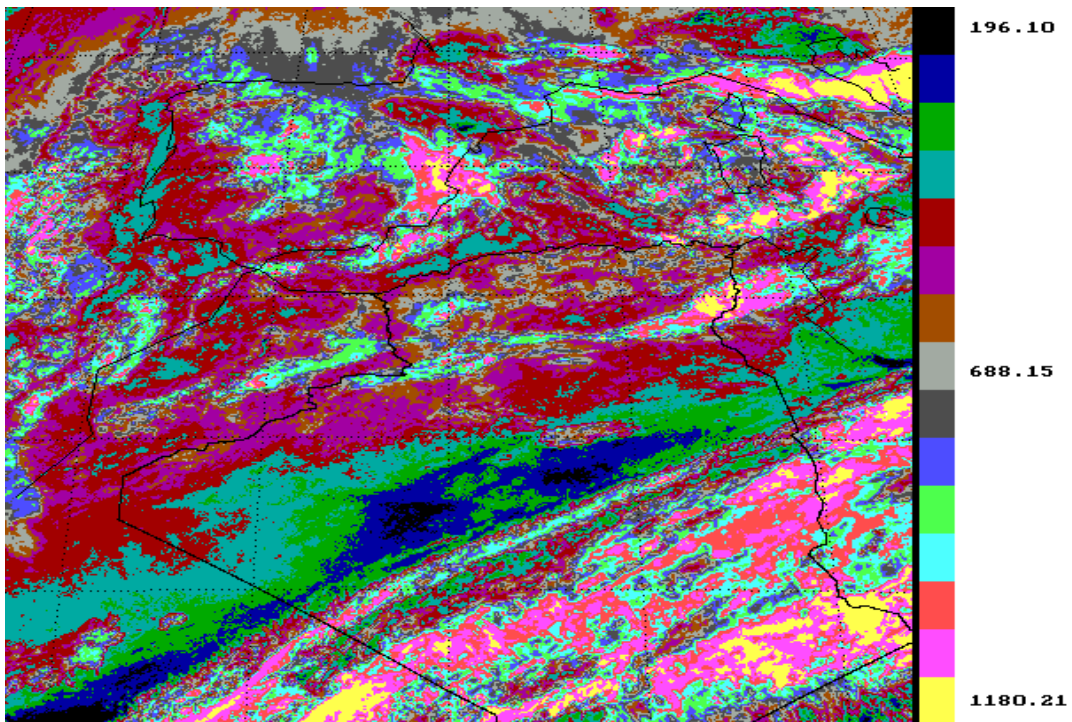


Fig.6: Image B1 de 01/12/98 transformée en irradiance diffuse journalière (J/cm^2)

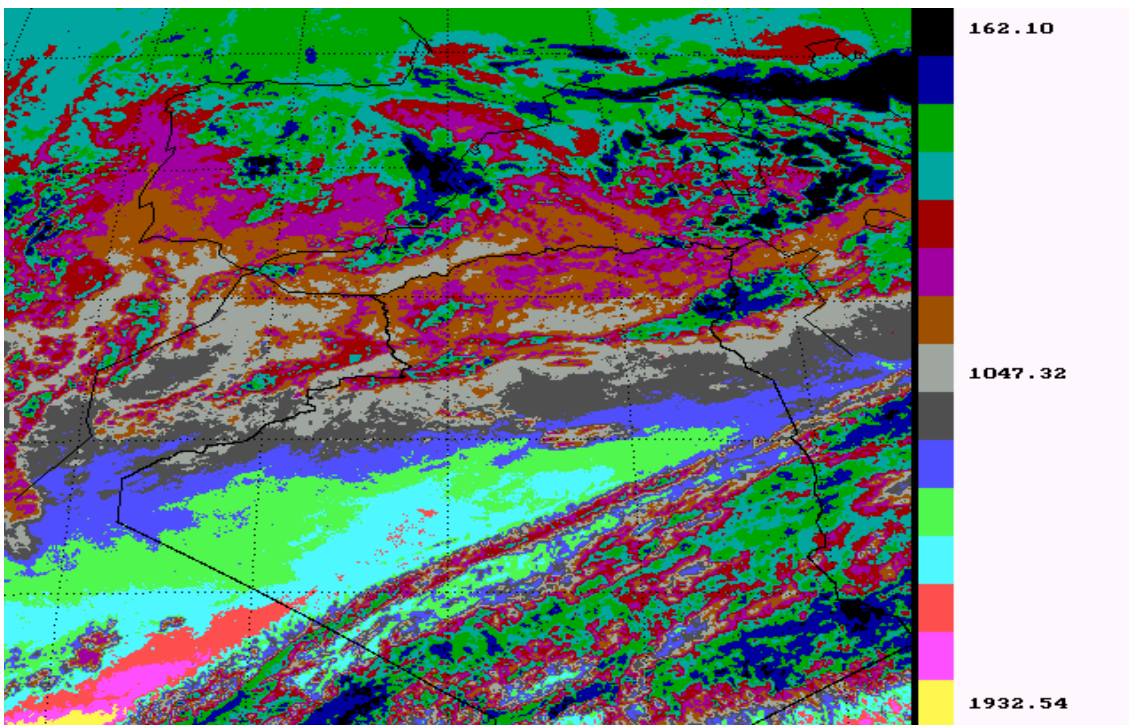


Fig.7: Image B1 de 01/12/98 transformée en irradiance globale journalière (J/cm^2)

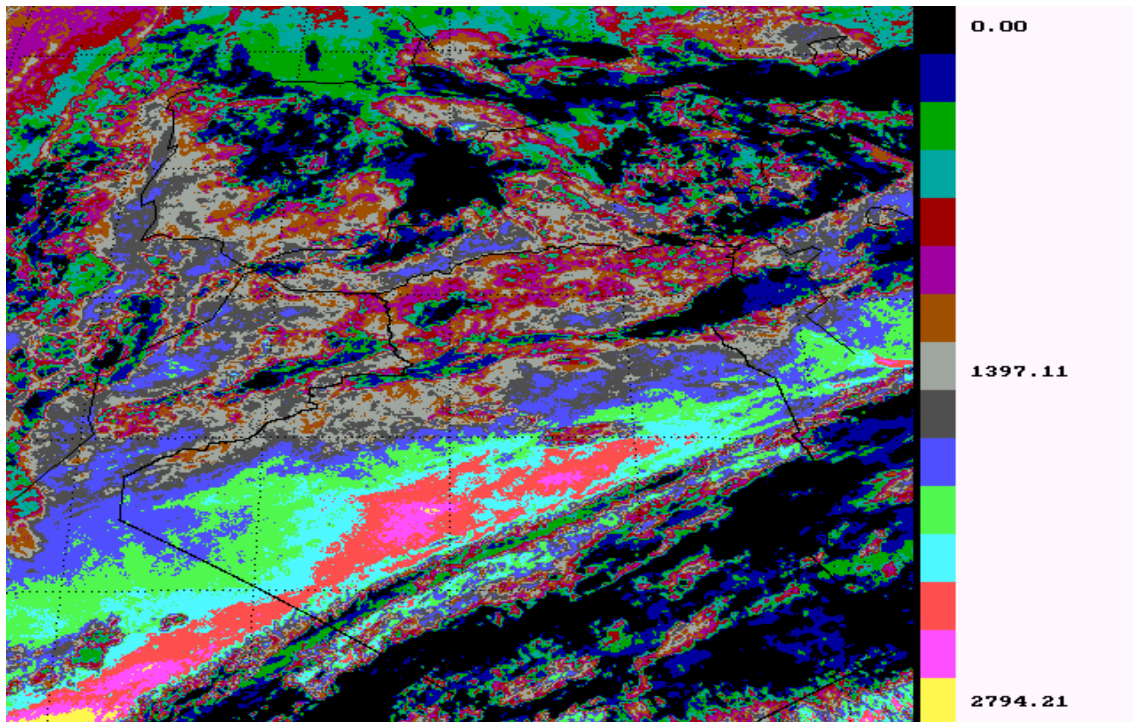


Fig.8: Image B1 du 01/12/98 transformée en irradiance directe journalière en J/cm^2

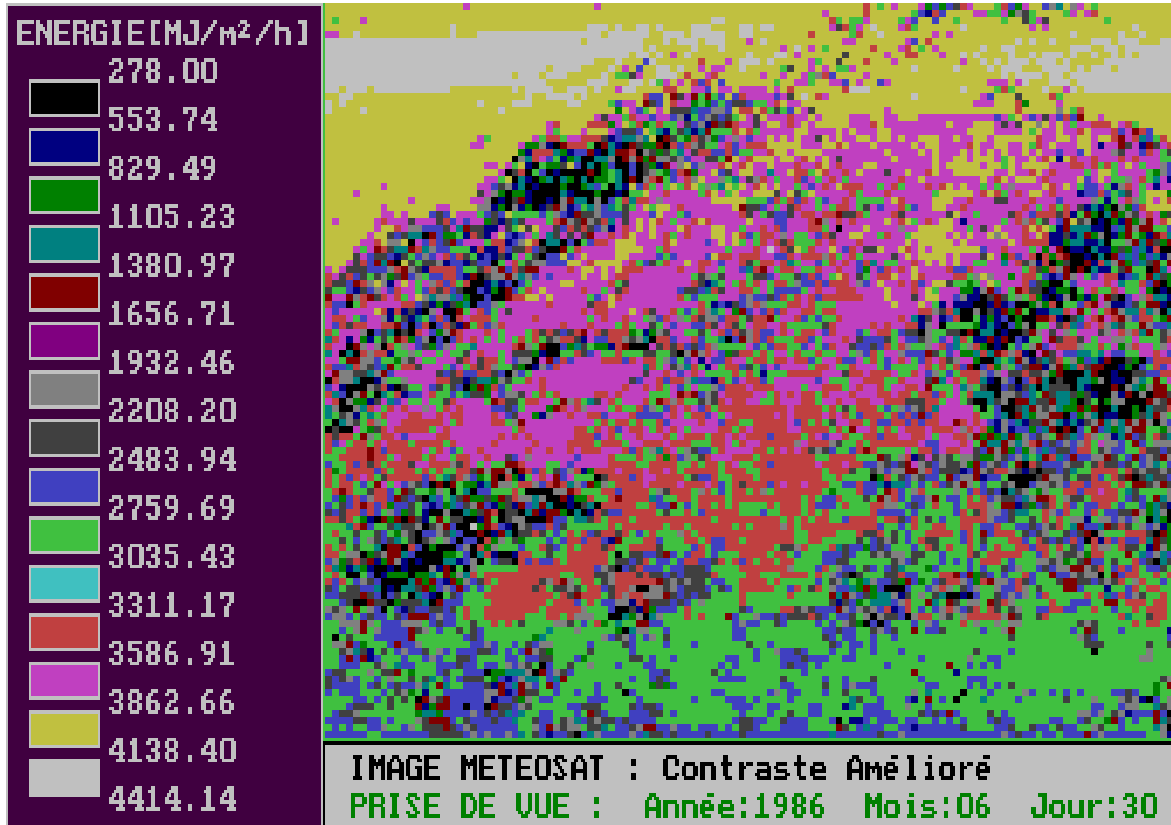
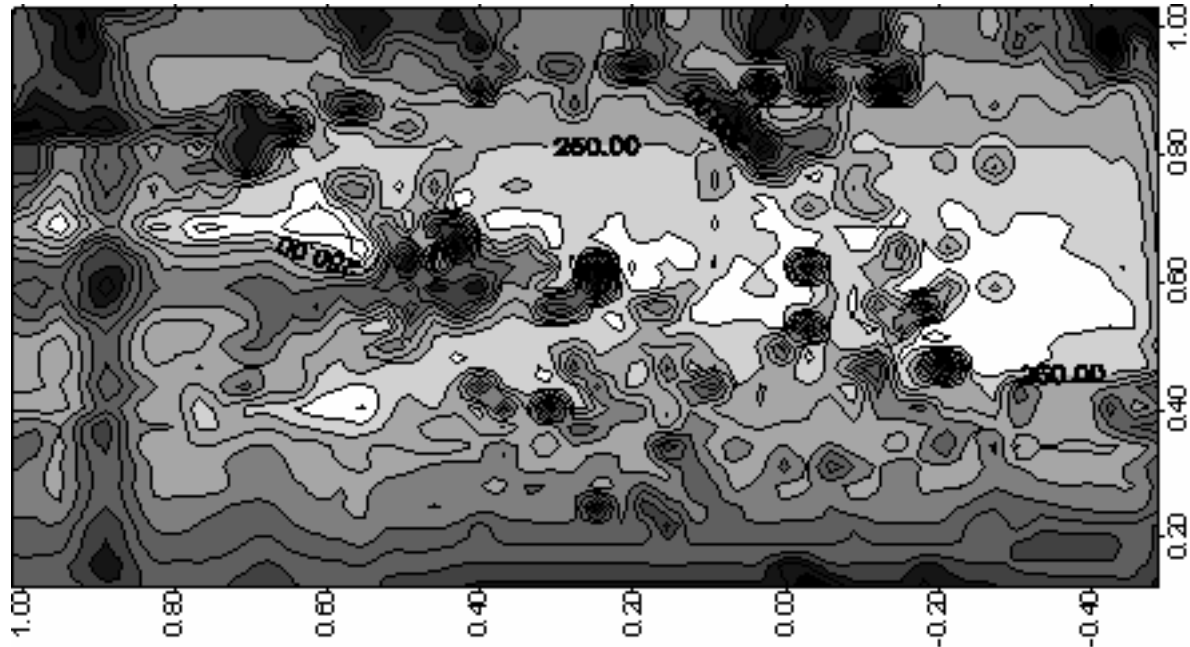


Fig.9: Image transformée en irradiance globale journalière moyenne pour les dix derniers jours du mois de juin

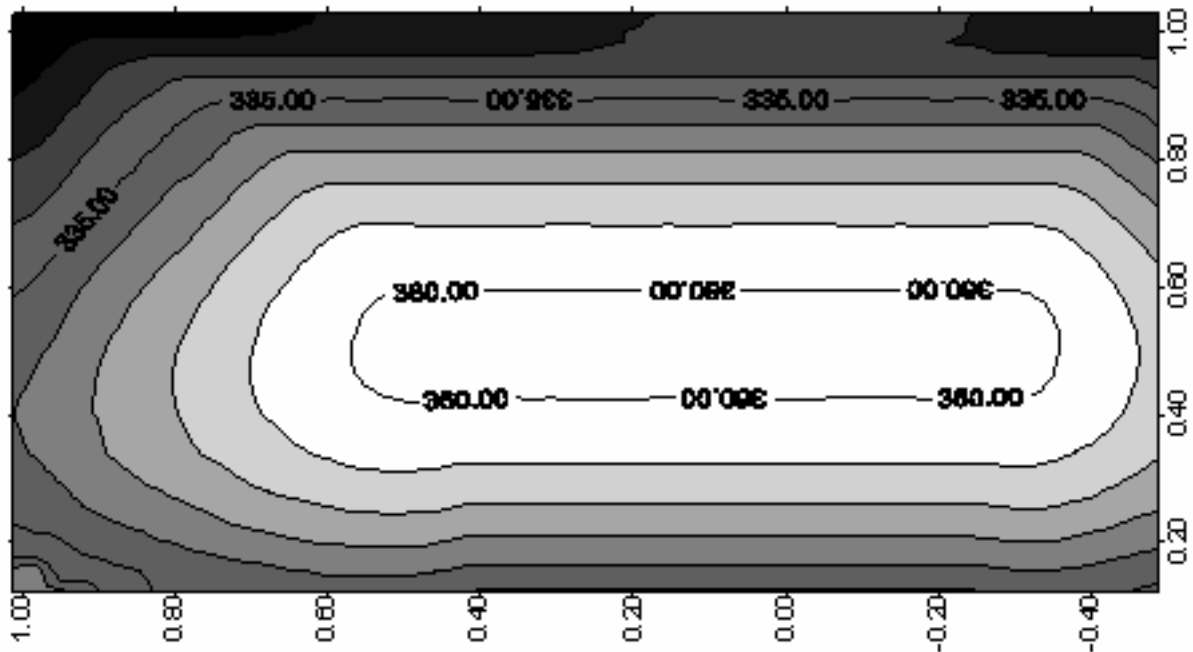
4.4 Cartes solaires

Le logiciel PCSATWIN est un outil de travail sous format RASTER et dans le souci de l'enrichir en application d'une procédure de transformation des images en format vectoriel est réalisée. L'opération Sauvegarde crée un fichier matriciel en format réel. La procédure XYZ transforme les résultats matriciels sous le format vectoriel suivant :

V1 (latitude), V2 (longitude), V3 (énergie).



Carte de radiation globale horaire pour un jour donné.



Carte de radiation hors atmosphère horaire

Fig. 10: Cartes de radiation globale et de radiation hors atmosphère

Le fichier créé est compatible aux formats de lecture du logiciel SURFER qui est un outil universel puissant de cartographie des données. La lecture des fichiers du PCSATWIN par le SURFER, offre une analyse des images météo-sat et de cartographie du potentiel radiatif. Les figures 10 représentent des cartes d'irradiance hors atmosphère et d'irradiance globale au sol en utilisant le Krigeage pour l'interpolation spatiale. Nous remarquons les différentes isolines qui sont les contours des régions de même radiation.

5. VALIDITE DU MODELE

Tout modèle développé est une représentation mathématique d'un état réel. Pour valider un modèle d'estimation des différentes composantes du rayonnement solaire au sol, il est nécessaire de comparer les valeurs calculées aux valeurs mesurées. Pour cela, nous avons comparé les résultats obtenus par le modèle pour les deux pixels (Oran, Tamarrasset) avec les valeurs mesurées pour ces deux dernières stations. L'analyse comparative est effectuée à base de coefficient de corrélation (coéf corel) et l'écart quadratique moyenne (Err moyenne%) entre les irradiances mesurées et calculées (Tableau 1 et Tableau 2). L'étude comparative des irradiances nous a permis de constater les avantages et les inconvénients du modèle.

Tableau 1: Etude comparative des irradiances mesurées et calculées (décembre 1998)

	Global		Diffus		Direct	
	ORAN	TAM	ORAN	TAM	ORAN	TAM
Coef Corél	0.92	0.90	0.64	0.92	0.92	0.95
Err moyenne%	5.4	2.9	16	13	13	0.6

Tableau 2: Etude comparative des irradiances mesurées et calculées (février 2000)

	Global		Diffus		Direct	
	ORAN	TAM	ORAN	TAM	ORAN	TAM
Coef corrél	0.82	0.96	0.84	0.51	0.90	0.77
Err moyenne%	1.4	1.6	18	26	11	8.5

5.2 Avantages

L'estimation des différentes composantes calculées par ciel clair donne des résultats appréciables par rapport aux valeurs mesurées au sol. Le rayonnement global est la composante la mieux estimée par rapport aux deux autres composantes. Dans tous les cas l'irradiance globale est estimée avec une erreur type moyenne autour de 4 %. L'estimation de l'irradiance diffuse et de l'irradiance directe à partir du modèle proposé donne des résultats parfois trop bons et parfois moyens.

5.3 Inconvénients

Nous pouvons considérer que la faiblesse majeure du modèle provient de sa sensibilité aux fluctuations de l'enneuagement. L'importance des erreurs du diffus (qui peuvent atteindre 10% et 25%) est certainement liée à la non-prise en considération des brumes sèches et des nuages brisés éparpillés dans l'espace par le modèle.

6. CONCLUSION

Ce travail a pour objet le calcul et la cartographie des différentes composantes du rayonnement solaire (Global, Diffus, Direct) en utilisant l'imagerie satellitaire et les données radiométriques. La méthode développée consiste à adapter des modèles classiques aux modèles qui s'appliquent à la fois aux données sols et satellitaires.

Le calcul d'enneuagement utilisé est simple vu qu'il considère l'atmosphère comme étant la superposition d'un état à ciel clair et d'un état à ciel nuageux, alors que la réalité est beaucoup plus complexe. Pour améliorer le calcul d'enneuagement nous avons combiné les radiances mesurées en infrarouge et les albédo calculés en visible.

Nous avons défini des relations physiques qui relient les différentes composantes du rayonnement solaire par ciel clair aux taux de couverture nuageuse des pixels pour estimer les irradiances qui atteignent le sol.

L'étude comparative entre les valeurs mesurées et calculées nous a montré que l'irradiance globale est la composante la mieux estimée par rapport aux deux autres composantes. L'irradiance diffuse est le paramètre le moins estimé par le modèle développé. L'importance des erreurs (qui peuvent atteindre 25 %) est due à la non prise en considération de la nature des nuages et des brumes sèches par le modèle.

NOMENCLATURE

A : Albédo sphérique	B1 : Format d'images météosat en pleine résolution
α_n : Albédo de nuage	D_n : Rayonnement diffus ciel semi-couvert (wm^{-2})
α_s : Albédo du sol	G_{skc} : Rayonnement global au sol à ciel clair ($w.cm^{-2}$)
$N(j, h)^*$: Enneuagement.	I_{skc} : Rayonnement direct a ciel clair (wm^{-2})
$N(j, h)$: Enneuagement corrigé	$G_n^{horaire}$: Rayonnement global horaire (J/cm^2)
S : Insolation	$G_n^{journalier}$: Rayonnement global journalier (J/cm^2)
T : Facteur du trouble de Link	I_n : Rayonnement direct a ciel semi-couvert (wm^{-2})
P : Coefficient de clarté du ciel	G_n : Rayonnement global a ciel semi-couvert ($w m^{-2}$)
Lat : Latitude géographique du lieu	D_{skc} : Rayonnement diffus a ciel clair (wm^{-2})
Lon: Longitude géographique du lieu	B2 : Format d'image météosat secondaire
C : Rapport entre la radiation diffuse et la radiation directe par ciel clair	
CN_{max} : Compte numérique maximum enregistré pendant tout le mois pour un pixel donné.	
CN_{min} : Compte numérique minimale enregistrée pendant tout le mois pour le même pixel.	
$CN(j, h)$: Compte numérique enregistré pendant le jour j à l'heure h pour le pixel (x,y).	
Y : Polynôme du deuxième ordre en fonction de latitude du lieu	

REFERENCES

- [1] M. Noia, C.F. Ratto and R. Festa, 'Solar Irradiation from Geostationary Satellite Data - I. Statistical Models', Solar Energy, 51, pp. 449-456, 1993.
- [2] R. Dogniaux, 'Eclaircissement Energétique Solaire Direct, Diffus et Global des Surfaces Orientées et Inclonnées, Algorithme et Méthodologie', Miscellana Série B n° 59, Bruxelles, Institut Royal Météorologique de Belgique, pp 37, 1984.
- [3] J.D. Tarpley, 'Estimating Incident Solar Radiation at the surface from Geostationary Satellite Data', J. Appl. Meteorol., 18, pp. 1172-1181, 1979.

- [4] G. Dedieu, Y. Deschamps and Y.H. Kerr, 'Satellite Estimation of Solar Irradiance at the Surface of the Earth and the Surface Albedo using a Physical Model Applied to Meteosat Data', *J. Climate. Appl. Meteor*, 26, pp. 79-87, 1987.
- [5] J.C. Ceballos and G.B.A. Moura, 'Solar Radiation Assessment using Meteosat 4 vis Imagery', *Solar Energy*, Vol. 60, pp. 209-219, 1997.
- [6] M. Noia, C.F. Ratto and R. Festa, 'Solar Irradiation from Geostationary Satellite Data - II. Physical Models', *Solar Energy*, 51, pp. 457-465, 1993.
- [7] W.M.O, 'Meteorology Aspects of Utilisation of Solar Radiation as an Energy Source', N°557, 1978.
- [8] Y. Kondratiev, '*Radiation in the Atmosphere*', Academic. Press, 1969.
- [9] W. Möser and E. Raschke, 'Mapping of Global and Cloudiness from Meteosat Data Meteor', *Rundsch*, 36, pp. 33-41, 1983.
- [10] C. Gaurier Diak and S. Masse, 'A Simple Physical Model to Estimate Incident Solar Radiation at the Surface from GOES Satellite Data', *Journal of Applied Meteorology*, vol. 19, pp. 1005-1012, 1980.
- [11] M.S. Imamura, R. Hulstrom and C. Cookson, 'Definition Study of Photovoltaic Residential Prototype System', U.S. Department of Commerce, Report N°N77-13533. 1976.
- [12] N. Bachari, 'Méthodologie d'Analyse des Données Satellitaires en Utilisant des Données Multisources', Thèse de Doctorat d'Etat, U. S. T. Oran, 11 Avril 1999.
- [13] C. Delorme, C. Mohamed et M. Otmani, 'Détermination d'une Irradiation Solaire Journalière à Partir de Trois Irradiations Horaires à 9, 12 et 15 h', *Revue Phys. Appl.* 24, pp. 1023-1027, 1989.
- [14] N. Beanabadji, N. Bachari et A. Abdellaoui, 'Développement d'un Logiciel d'Analyse Spectrale et Temporelle des Images Satellitaires Type SPOT, LANDSAT et METEOSAT', *A.M.S.E, J. Vol. 38, N°1,2*, pp. 15-34, 1997.