

N° d'ordre :
N° de série :

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES MATHÉMATIQUES
ET DES SCIENCES DE LA MATIÈRE
Département de physique



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Matière
Filière : Physique
Spécialité : Physique Energétique
Présenté par : **BOUCETTA Lakhdar**

Thème :

**Estimation du rayonnement solaire à l'aide
du modèle de l'Atlas Solaire de l'Algérie**

Soutenu publiquement
Le : 29/05/2017

Devant le jury composé de :

Dr BECHKI Djamel	MCA	Président	UKM Ouargla
Dr SOUDANI Med Elbar	MAA	Examineur	UKM Ouargla
Dr MARIF Yacine	MCB.	Rapporteur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2016/2017



Dédicace

*A tous ceux qui me
sont chers.*

L Boucetta



REMERCIEMENT

Je remercie **Dieu** pour la bénédiction.

J'adresse mes remerciements au Dr MAARIF Yacine de m'avoir encadrer dans ce mémoire et pour ses conseils.

Je remercie Monsieur le Dr BECHKI Djamel pour la présidence du jury de ce mémoire.

Je tiens à adresser mes plus sincères reconnaissances au Dr SOUDANI Med Elbar d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je remercie mes collègues et frères : MEFTAH Med Tayeb, AIADI Kamel Eddine, BENZAHY Youcef, LOUNAS Ali, CHIHI Smail, BENMABROUK Lazhar et BALLAH Zakia de leurs soutiens morales.

Mes remerciements à tout le personnel **permanent** de l'université Kasdi Merbah de Ouargla et mes collègues de la promotion .

Résumé

L'évaluation à long terme des performances des systèmes de distillation solaire s'établit par l'intermédiaire des programmes de simulation numérique qui nécessitent la connaissance des paramètres météorologiques et radiométriques à faible pas du temps ou à pas variable, tels que la température ambiante, la vitesse de vent et l'éclairement solaire. L'utilisation des modèles de rayonnement solaire reste pratiquement l'un des seuls moyens pour pallier au problème des données radiométriques à cause de la rareté des stations radiométriques sur le territoire national. Dans ce contexte, un programme informatique écrit en MATLAB a été développé en utilisant le modèle de rayonnement solaire proposé par Capderou en 1987 dans l'Atlas Solaire de l'Algérie pour un ciel totalement clair. L'application permet d'estimer l'ensemble du rayonnement solaire incident pour différentes inclinaisons et orientations dans la région d'Ouargla. Des excellents accords ont été observés quand ce modèle est validé par des données expérimentales.

Mots clés: Rayonnement solaire, modèle de Capderou, Simulation

Abstract

The long-term evaluation of the performance of solar distillation systems is established through numerical simulation programs that require knowledge of meteorological and radiometric parameters with little time or variable pitch such as ambient temperature, Wind speed and solar illumination. The use of solar radiation models remains practically one of the only means of alleviating the problem of radiometric data due to the scarcity of radiometric stations on the national territory. In this context, a computer program written in MATLAB was developed using the solar radiation model proposed by Capderou in 1987 in the Solar Atlas of Algeria for a totally clear sky. The application makes it possible to estimate the total incident solar radiation for different inclinations and orientations in the Ouargla region. Excellent tuning has been observed when this model is validated by experimental data.

Keywords: Solar radiator , model of Capderou, Simulation

ملخص

تم تأسيس تقييم الأداء طويل الأجل لأنظمة المقطرات الشمسية عن طريق برامج المحاكاة الرقمية التي تتطلب معرفة المعلمات الأرصاد الجوية والإشعاعي مرور منخفض من الوقت أو الملعب متغير، مثل درجة الحرارة المحيطة، سرعة الرياح والإشعاع الشمسي. استخدام نماذج الأشعة الشمسية هي عمليا واحدة من الطرق الوحيدة للتغلب على البيانات الإشعاعي من المشكلة بسبب ندرة محطات الإشعاع في البلاد. وفي هذا السياق، تم تطوير برنامج كمبيوتر مكتوب في MATLAB باستخدام نموذج الإشعاع الشمسي التي كتبها Capderou المقترحة في عام 1987 الشمسية أطلس الجزائر لسماء صافية تماما. تطبيق يسمح لتقدير الحادث الإشعاع الشمسي بأكمله إلى الميول والتوجهات المختلفة في منطقة ورقلة. وقد لوحظت الترتيبات الممتازة عندما يتم التحقق من صحة هذا النموذج بواسطة البيانات التجريبية.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسية، نموذج كابديرو، التحاكي

NOMENCLATURE

Symboles	Unités
E : Flux de rayonnement solaire	[W.m ²]
δ : Angle de déclinaison	[Degré]
φ : La latitude	[Degré]
j : La date (numéro du jour de l'année).	
TS : L'heure solaire dans la journée	
TSV : Heure solaire vraie	
TU : Heure universelle	
ω : Angle horaire	[Degré]
a : azimut	[Degré]
h : Hauteur du soleil	[Degré]
I_d : rayonnement solaire direct	[W/m ²]
I_0 : la constante solaire	[W/m ²]
ε : Distance terre-soleil	[m]
θ : Angle d'incidence	[Degré]
m_A : Masse d'air atmosphérique	[kg]
P : Pression locale	[Pa]
T_L : Facteur de trouble de Linke	

LISTE DES FIGURES

	Page
Fig:(I-1) Mouvement de la terre autour du Soleil.....	2
Fig: I-2 Repérage de la position du Soleil.....	3
Fig: I-3 Mode de poursuite solaire d'un CCP.....	5
Fig: II-1 Organigramme de calcul.....	10
Fig: II-2 Angle d'inclinaison en fonction du nombre de jour.....	11
Fig: III-1 Comparaison des résultats pour une journée d'hiver.....	14
Fig: III-2 Comparaison des résultats pour une journée d'été	15
Fig: III-3 Erreur relative de rayonnement global pour les deux journées	15
Fig: III-4 Rayonnements direct sur un plan horizontal.....	16
Fig: III-5 Rayonnements incident sur les cinq faces d'une maison.....	17
Fig: III-6 Schéma de principe d'un CCP	18
Fig: III-7 Variation du rayonnement direct en fonction de l'angle d'inclinaison.....	19
Fig: III-8 Mode de poursuite solaire d'un CCP.....	20
Fig: III-9 Variation du rayonnement direct en fonction du temps.....	21

LISTE DES TABLEAUX

Tab(III-1) Comparaison de l'énergie absorbée suivant les modes de poursuite solaire	19
---	----

TABLE DES MATIERES

	Page
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : ELEMENT DE GISEMENT SOLAIRE	2
I--1- Introduction.....	2
I--2- Mouvements de la terre et du soleil	2
I-3- Estimation du rayonnement solaire.....	4
I-3-1- Estimation du rayonnement par le modèle de Capderou.....	4
I-3-2- Estimation du rayonnement diffus.....	7
Chapitre II: PROGRAMME DE CALCUL	10
II-1- Introduction	10
II-2- Programme de calcul.....	10
Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	14
III-1-Validation du modèle :	14
III-2-Cas d'un capteur plan.....	16
III-3-Cas d'un logement.....	17
III-4- Comparaison Entre Les Modes De Poursuite Solaire D'un Concentrateur solaire Cylindro-Parabolique.....	18
CONCLUSION	22
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	23

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie est aujourd'hui un concept important, mais souvent trop simplifié. Tout le monde en parle, mais l'approche reste souvent liée à l'actualité. Pourtant, l'énergie est le moteur de la vie et du développement technologique. Le niveau de consommation de l'énergie, les ressources valorisées et les technologies utilisées sont liés étroitement à l'histoire de l'humanité et détermine son avenir. L'énergie concerne chacun de nous, vu que chacun est au minimum un consommateur, et il est de notre devoir de mieux la connaître pour mieux la valoriser. L'homme a apprivoisé le feu, l'eau coulant, le vent et les animaux pour économiser ses propres efforts. Cependant avec la découverte des énergies fossiles, on a assisté à un réel détour dans l'histoire humaine accompagné d'une véritable révolution technologique.

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenue en 1973 a conduit une première fois l'homme à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelables au premier rang desquelles l'énergie solaire. Les principales caractéristiques de l'énergie solaire ayant suscité l'intérêt qu'on lui a porté à l'époque étaient sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence de risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile. Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sera lié non seulement à ses avantages économiques (qui grandiront au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminueront) mais surtout à des considérations liées à la protection de l'environnement : pas de rejets polluants, pas de danger radioactif et de déchets encombrants (centrales nucléaires), possibilité de limitation de l'emploi des CFC (production de froid solaire par adsorption). Les énergies renouvelables, notamment solaires, sont de plus en plus sollicitées pour contribuer à la satisfaction des besoins en énergie du milieu rural.

Le facteur de trouble atmosphérique de Linke est une approximation très commode pour modeler l'absorption et la dispersion atmosphérique du rayonnement extraterrestre. Ce facteur décrit l'épaisseur optique de l'atmosphère due à l'absorption par la vapeur d'eau et l'absorption et la dispersion par les particules d'aérosol.

Le facteur de trouble atmosphérique de Linke (T_L) peut être adopté pour estimer le rayonnement solaire dans le Sahara de l'Algérie à cause de la faible concentration des nuages dans ces zones, on peut obtenir ce facteur à partir de la formule empirique développée par Capderou. Dans ce travail on a réalisé un programme informatique en langage MATLAB, en utilisant le modèle empirique de Capderou pour modéliser le rayonnement solaire pour différentes inclinaisons et orientations.

Chapitre I

ELEMENT DE GISEMENT SOLAIRE

I--1- Introduction:

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1.391.000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2×10^{27} tonnes. Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.106 tonnes d'hydrogène en 560.106 tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ($E = mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36×10^{22} kW.

La terre étant à une distance de 150.10^6 km du Soleil, elle reçoit une énergie de 1.8×10^{17} W. La valeur du flux de rayonnement solaire E reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance terre-soleil, sa valeur moyenne E_0 est appelée la constante solaire, elle vaut $E_0 = 1367$ W/m². En première approximation, on peut calculer la valeur du flux de rayonnement solaire E en fonction du numéro du jour de l'année j par la relation suivante [1] :

$$E = E_0 [1 + 0.033 \cos(0.984 j)] \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{I-1})$$

I--2- Mouvements de la terre autour du soleil :

La trajectoire de la terre autour du Soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique, l'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre-Soleil ne varie que de $\pm 1.7\%$ par rapport à la distance moyenne. La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison et qui vaut $23^\circ 27'$.

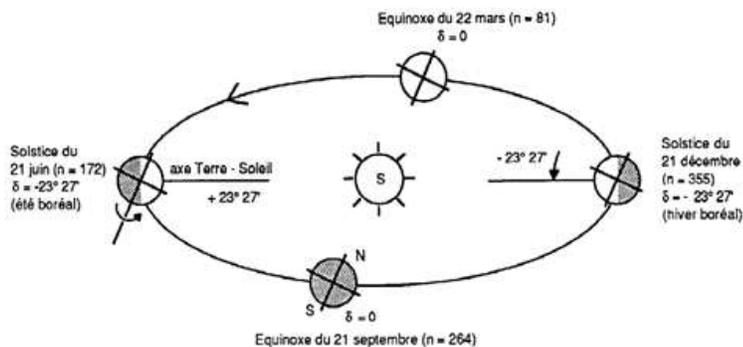


Figure (I-1) : Mouvement de la terre autour du Soleil.

On appelle déclinaison δ l'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial, elle varie au cours de l'année entre -23.45° et $+23.45^\circ$. Elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre), maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre). La valeur de la déclinaison peut être calculée par la relation :

$$\delta = 23.45 \sin\{0.986 \times (284 + j)\} \quad (1-2)$$

Le repérage du Soleil s'effectue par l'intermédiaire de deux angles :

- **L'azimut-a-** : c'est l'angle que fait la direction de la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction sud, cet angle étant orienté positivement vers l'ouest figure (I-1).
- **La hauteur -h- du soleil** : c'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal figure (I-1).

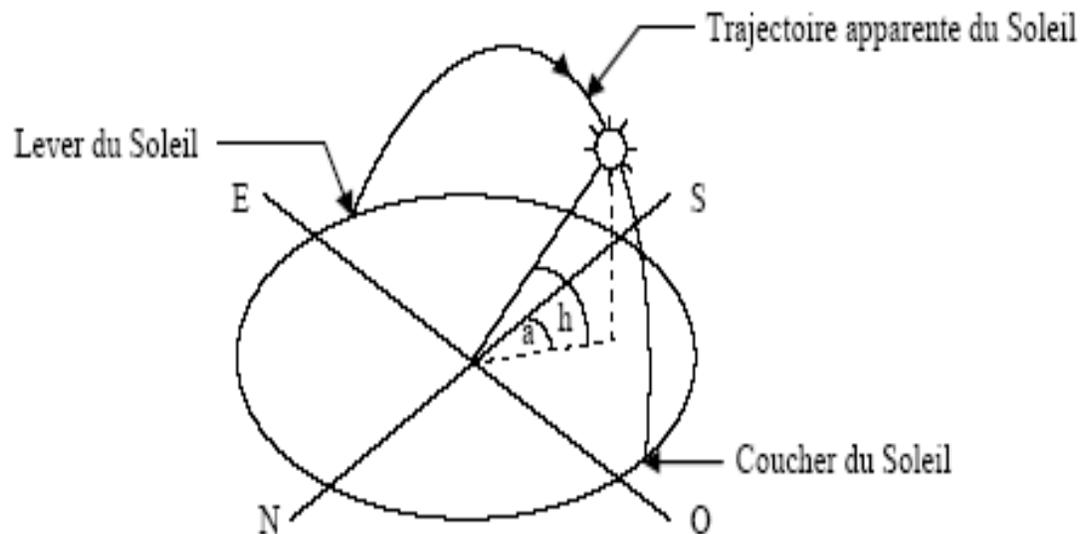


Figure (I-2) : Repérage de la position du Soleil.

Ces deux angles sont fonction de :

- La latitude φ du lieu.
- La date j (numéro du jour de l'année).
- L'heure solaire TS dans la journée.

La latitude φ permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur, elle est comptée positivement de 0 à + 90° vers le nord et négativement de 0 à - 90° vers le sud. On définit le jour comme le temps mis par la terre pour effectuer un tour sur elle-même (le jour est divisé en 24 h) et on a défini l'heure solaire en fixant TSV =12 h lorsque la hauteur du soleil est maximale (le Soleil est à son zénith). La latitude et la date j servent à déterminer la trajectoire du Soleil dans le ciel et l'heure TSV donne la position instantanée sur cette trajectoire. On définit également :

$$\text{L'angle horaire } \omega \text{ par : } \quad \omega = 15^\circ (TSV - 12) \quad (\text{Degré}) \quad (\text{I-3})$$

$$\text{Avec : } TSV = TU + \frac{\lambda}{15} + \Delta t$$

Et L'équation du temps :

$$\Delta t = 9,9 \sin\left[2\left(\frac{360}{365} j + 100\right)\right] - 7,7 \sin\left(\frac{360}{365} j - 2\right)$$

$$\text{La hauteur } h \text{ du Soleil par : } \quad \sin(h) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\omega) \quad (\text{I-4})$$

$$\text{Et l'azimut par la relation : } \sin(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (\text{I-5})$$

I-3- Estimation du rayonnement solaire [4]:

Le facteur de trouble atmosphérique de Linke (T_L) peut être adopté pour estimer le rayonnement solaire dans le Sahara de l'Algérie à cause de la faible concentration des nuages dans ces zones, on peut obtenir ce facteur à partir de la formule empirique développée par Capderou en 1987 dans l'Atlas Solaire de l'Algérie dans le cas d'un ciel clair.

I-3-1- Estimation du rayonnement par le modèle de Capderou :

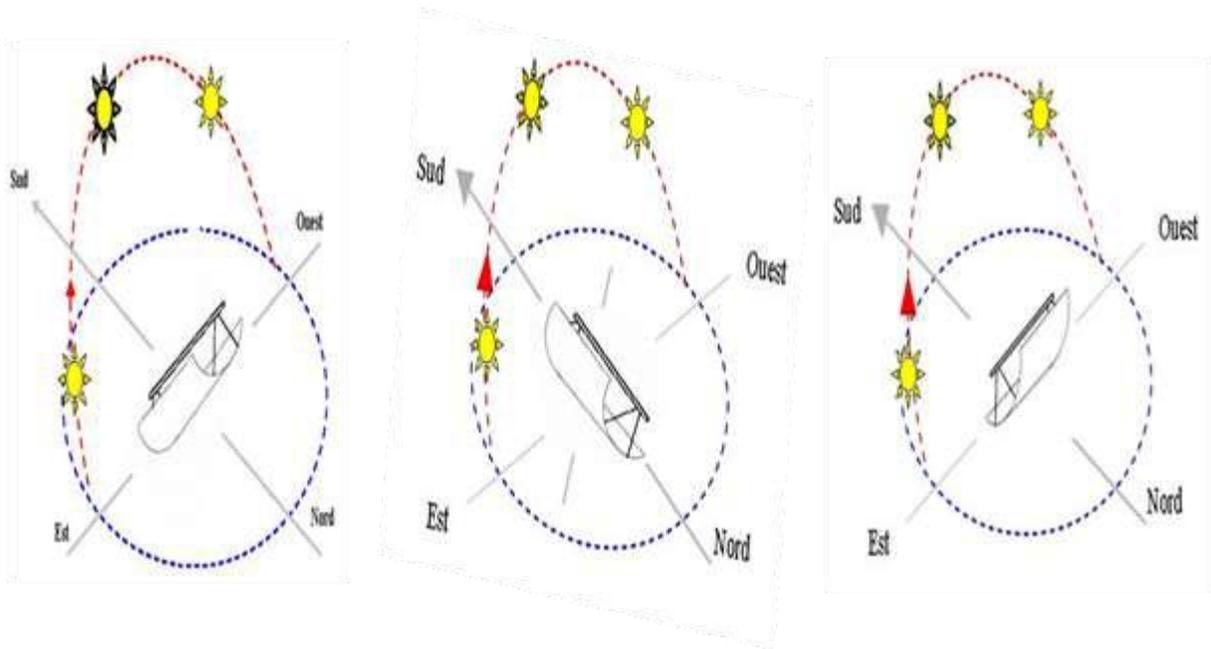
L'atténuation du rayonnement commence à son entrée dans l'atmosphère terrestre, ce dernier est composé d'un mélange d'air sec et propre (gaz), de la vapeur d'eau et des aérosols. Pour calculer le rayonnement solaire direct incident sur un plan quelconque au niveau du sol, on utilise l'équation suivante:

$$I_d = I_0 \varepsilon_0 \cos \theta \exp\left(\frac{-T_L m_A}{9,4 + 0,9 m_A}\right) \quad (\text{I.6})$$

La distance terre-soleil ϵ_0 varie peu au cours de l'année plus au moins 1.65%. Elle est la plus faible vers le début de janvier et la plus longue le début juillet.

$$\epsilon_0 = 1 + 0.034 \cos\left(\frac{360}{365}(n - 2)\right) \quad (\text{I.7})$$

La valeur du flux de rayonnement solaire reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre varie au cours de l'année avec la distance terre-soleil, sa valeur moyenne I_0 est appelée la constante solaire. Dans notre cas $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.



Figure(1-3): mode de poursuite solaire d'un CCP

Le cosinus d'angle d'incidence est variable en fonction du mode de poursuite solaire, pour une poursuite totale du soleil là on a un réglage continu :

$$\theta = 0 \Rightarrow \cos \theta = 1 \quad (\text{II.8})$$

D'après Capderou [2]:

Dans le cas d'un suivi solaire suivant l'axe de la terre avec une inclinaison égale à la latitude du lieu (Est-Ouest polaire):

$$\cos \theta = \cos \delta \quad (\text{I.9})$$

Dans le cas d'un suivi solaire suivant l'axe Est-Ouest horizontal, le tube récepteur du concentrateur est parallèle à l'axe Nord-Sud:

$$\cos \theta = \sqrt{(\cos(\delta)\sin(\varphi)\cos(\omega) - \cos(\delta)\cos(\omega))^2} \quad (\text{I.10})$$

Dans le cas d'un suivi solaire suivant l'axe Nord-Sud horizontal, le tube récepteur du concentrateur est parallèle à l'axe Est-Ouest:

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \cos^2(\delta)\sin^2(\omega)} \quad \text{ou} \quad \cos \theta = \sqrt{\sin^2(\delta) + \cos^2(\delta)\cos^2(\omega)} \quad (\text{I.11})$$

Dans le cas d'un plan fixé quelconque le cosinus d'angle d'incidence est défini par Capderou comme suit :

$$\cos \theta = A \sin \omega + B \cos \omega + C \quad (\text{I.12})$$

Avec

$$A = \cos \delta \sin \Omega \cos(90 - \beta)$$

$$B = \cos \delta [\cos \Omega \cos(90 - \beta) \sin \varphi + \sin(90 - \beta) \cos \varphi]$$

$$C = \sin \delta [-\cos \Omega \cos(90 - \beta) \cos \varphi + \sin(90 - \beta) \sin \varphi]$$

m_A est la masse d'air atmosphérique (masse d'air optique) qui représente la masse d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol, elle dépend de la pression locale (P) et de l'évolution de la hauteur du soleil (h_s), la valeur de m_A est donnée par [3] comme suite :

$$m_A = \frac{P}{101325} [\sin(h_s) + 0.15 (h_s + 3.885)^{-1.253}]^{-1} \quad (\text{I.13})$$

Avec :

$$P = 101325 \exp(-0.0001184 Z) \quad (\text{I.14})$$

$$h_s = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (\text{I.15})$$

Le facteur de trouble de Linke (T_L) est décomposé par Capderou en trois facteurs de troubles auxiliaires T_0 , T_1 et T_2 :

- T_0 : est 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 seules paramètres géo-astronomiques a permis à Capderou de proposer l'expression suivante :

$$T_0 = 2.4 - 0.9 \sin \varphi + 0.1 A_{he}(2 + \sin \varphi) - 0.2 Z - (1.22 + 0.14 A_{he})(1 - \sin h) \quad (I.16)$$

- T_1 : est le trouble dû 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 :

$$T_1 = (0.89)^Z \quad (I.17)$$

- T_2 : est le trouble dû à la diffusion par les aérosols couplée à une légère absorption, qui dépend à la fois de la nature, des dimensions et de la quantité des aérosols:

$$T_2 = (0.9 + 0.4 A_{he})(0.63)^Z \quad (I.18)$$

Pour mettre en évidence la variation saisonnière, Capderou a créé la fonction A_{he} (L'alternance hiver-été) avec :

$$A_{he} = \sin\left(\frac{360}{365}(n - 121)\right) \quad (I.19)$$

Pour un plan horizontal, le rayonnement solaire direct incident égal à :

$$I_{dh} = I_0 \varepsilon_0 \sin h_s \exp(-T_L m_A \delta_{Ra}) \quad (I.20)$$

I-3-2- Estimation du rayonnement diffus:

Pour calculer le rayonnement diffus, Capderou a utilisé le facteur de trouble diffusif T_{Lf} . Dans le cas d'un plan horizontal le rayonnement diffus égal à (Capderou,1987):

$$I_{fh} = I_0 \varepsilon_0 \exp(-1 + 1.06 \log(\sin h_s) + a - \sqrt{b^2 + a^2}) \quad (I.21)$$

Avec

$$a = 1.1$$

$$b = \log T_{Lf} - 2.8 + 1.02(1 - \sin h_s)^2$$

$$T_{Lf} = T_1 + T_2$$

La composante diffuse reçue sur un plan incliné se décompose en deux composantes, le diffus de ciel et le diffus de sol :

- Le diffus de ciel : Il se compose de trois parties

$$I_{fciel} = \delta_d \cos \theta + \delta_i \frac{1 + \sin \beta}{2} + \delta_h \cos \beta \quad (I.22)$$

- 1- Composante directe, elle provient du voisinage du soleil dans un cône de demi-angle au sommet entre 3° et 15° qui peut être considérée qu'elle provient exactement du soleil :

$$\delta_d = I_0 \varepsilon_0 \exp(-2.84 + \sin h_s + a_d - \sqrt{4b_d^2 + a_d^2}) \quad (I.23)$$

Avec

$$a_d = 3.1 - 0.4b_d \quad (I.23 \text{ a})$$

$$b_d = \log T_{Lf} - 2.8 + 0.5 \log(\sin h_s) \quad (I.23 \text{ b})$$

- 2- Composante isotrope, elle correspond à un ciel de luminance uniforme :

$$\delta_i = I_{fh} - \delta_d \sin h_s \quad (I.24)$$

- 3- Composante du cercle de l'horizon provient d'une bande d'horizon d'une hauteur de 6° , elle semble associée à une accumulation d'aérosols dans les basses couches atmosphériques :

$$\delta_h = \frac{-0.02a_h I_{dh}}{\sin h_s (a_h^2 + a_h b_h + 1.8)} \exp(\sin h_s) \quad (I.25)$$

Avec

$$a_h = \log T_{Lf} - 3.1 - \log(\sin h_s) \quad (\text{I.25 a})$$

$$b_h = \exp(0.2 + 1.75 \log(\sin h_s)) \quad (\text{I.25 b})$$

- Le diffus du sol :

L'albédo du sol caractérise la réflexion de la lumière incidente, pour un plan quelconque :

$$I_{f\text{sol}} = b(I_d + I_f) \frac{1 - \sin \beta}{2} \quad (\text{I.26})$$

Chapitre II

PROGRAMME

DE

CALCUL

II-1- Introduction :

Le programme de calcul numérique MATLAB est choisi dans notre travail .MATLAB est l'abréviation en anglais de (MATrix LABoratory). Il est produit par MathWorks. L'intérêt de MATLAB tient à sa simplicité d'utilisation et à sa richesse fonctionnelle. En peut l'utiliser soit en mode en ligne de commande soit en mode programmation. Dans le Mode programmation les commandes sont écrites dans un fichier, le fichier doit être sauvegarde avec une extension 'm'. Pour exécuter ce fichier il suffit de taper son nom dans la fenêtre de commande.

II-2- Programme de calcul :

L'organigramme ci-après donne les étapes générales de calcul:

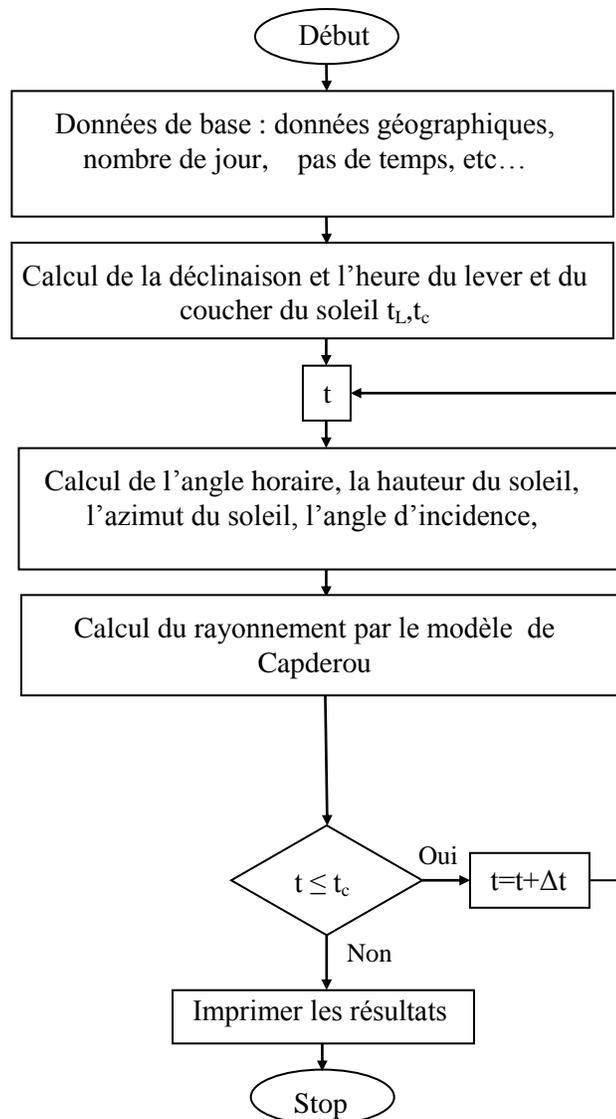


Figure (II-1) : Organigramme de calcul

En appliquant l'équation (I-2) on peut tracer l'angle d'inclinaison en fonction du nombre de jour.

Le programme de calcul est le suivant :

```

%*****
clc; clear all;
Lati=31.57;Long=5.24; Alti=141;           % Coordonnées OUARGLA

for j=1:365, Nmj (j)=j;end
j=1;
while j<=365

decl (j)=23.45*sind(0.986*(j+284));      %Déclinaison

j=j+1;
end
%*****Affichage des résultats*****
figure(1);plot (Nmj,decl)
figure(2);plot (Nmj,DeltLC)
%*****

```

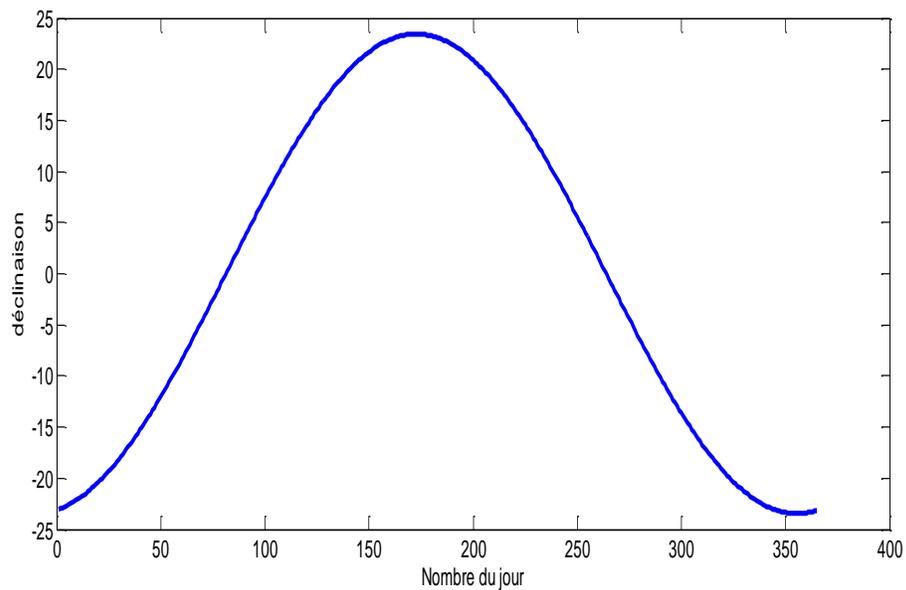


Figure (II-2) : angle d'inclinaison en fonction du nombre de jour.

Le programme principal de calcul est listé ci-dessous:

```

%*****
%*****Calcule du rayonnement solaire par le model de Capderou*****
%*****
%*****zone de Discription *****
%   Njm=nombre du jour par mois
%   Nm= nombre du mois
%   Nj= nombre du jour dans l'année
%   Lati=lalitude du lieu
%   Long=longitude du lieu
%   decl=déclinaison
%   gama= langle d'incliaison
%   angHS=langle horaire au lever du soleil
%   angH=langle horaire
%   h=la hauteur du soleil
%   az=l'azimut du soleil
%   angri=langle incidence
%   Ore=emplacement par rapport au grinutch(est:Ore=1,oust:Ore=2)
%   DeltaT=correction du temps
%   DeltLC=la durée du joure
%   Tls=le temps de lever du soleil
%   TCs= le temps de couche du soleil
%   Tlo=le temps locale
%   TU=le temps universelle
%   TSM=le temps solaire moyenne
%   TSV=le temps solaire vrai
%   Rsd= le rayonnement direct
%   Rsdf= le rayonnement diffus
%   Ray=le rayonnement globale
%   pas= le pas du temps
%   alpha=0 Orientation vers le sud
%   alpha=180° Orientation vers le nord
%   alpha=-90 Orientation vers l'est
%   alpha=90 Orientation vers l'ouest
%   Sui=0: pas de suivi solaire
%   Sui=1: suivi solaire totale
%   Sui=2: suivi solaire E-W polaire
%   Sui=3: suivi solaire E-W horizontale
%   Sui=4: suivi solaire N-S horizontale
%*****
clc; % Effacer l'écran
clear all; % Effacer des variables de l'espace de travail
Nm=1;Njm=15;pas=0.5;
ore=1;Lati=31.57;Long=5.24; Alti=141; %OUARGLA
%***** calcul de la déclinaison decl*****
Nj=30*(Nm-1)+Njm;
decl=23.45*sin(0.0172*(Nj+284));
%***** calcul de la correction de temps DeltaT*****
x=(2*pi/365)*(Nj-1);
DeltaT=(0.000075+0.00018*cos(x)-0.032077*sin(x)-0.014615*cos(2*x)-
0.04089*sin(2*x))*229.18;
DeltaT=DeltaT/60;
%***** calcul de la durée du jour DeltLC*****
angHS=acosd(-tand(decl)*tand(Lati));
Tls=12-angHS/15;TCs=12+angHS/15;

```

```

DeltLC=(2*angHS)/15;
N=floor(24/pas);
Tlo(1)=0;for i=2:N+1 Tlo(i)=Tlo(i-1)+pas; end

for i=1:N+1 TU(i)=Tlo(i)-1;
    if ore==1,TSM(i)=TU(i)+(Long/15);
        else TSM(i)=TU(i)-(Long/15);
    end
TSV(i)=TSM(i)+DeltaT;
angH(i)=15*(TSV(i)-12);

h(i)=cosd(Lati)*cosd(angH(i))*cosd(decl)+sind(Lati)*sind(decl);
xl(i)=sqrt(abs(1-h(i)^2));h(i)=atand(h(i)/xl(i));

%*****calcul de l'angle d'incidence*****
Sui=0;
%*****Plans fixe orienté vers le Sud*****
gama=0;alpha=0;
angri(i)=fonction1(angH(i),Sui,gama,Lati,alpha,decl);
[Ray(i),Rsd(i),Rsd(i)]=fonction2(angri(i),Nj,gama,h(i),Tlo(i),TLs,TCs,Lati,Alti);

[Val(i),Vald(i),Valf(i)]=fonction3(angri(i),Nj,gama,h(i),Tlo(i),TLs,TCs);

Id(i)=G1(i)-D(i);%Direct Experimentale
%*****Rayonnement incident sur les mures*****
gama=0;alpha=0;%la Toiture
[angri(i)]=fonction1(angH(i),Sui,gama,Lati,alpha,decl);
Rayhor(i)=fonction2(angri(i),Nj,gama,h(i),Tlo(i),TLs,TCs,Lati,Alti);
gama=90;% Mure vers le Sud
[angri(i)]=fonction1(angH(i),Sui,gama,Lati,alpha,decl);
Raysud(i)=fonction2(angri(i),Nj,gama,h(i),Tlo(i),TLs,TCs,Lati,Alti);
alpha=180;% Mure vers le Nord
[angri(i)]=fonction1(angH(i),Sui,gama,Lati,alpha,decl);
Raynord(i)=fonction2(angri(i),Nj,gama,h(i),Tlo(i),TLs,TCs,Lati,Alti);
alpha=90;% Mure vers l'Ouest
[angri(i)]=fonction1(angH(i),Sui,gama,Lati,alpha,decl);
Rayouest(i)=fonction2(angri(i),Nj,gama,h(i),Tlo(i),TLs,TCs,Lati,Alti);
alpha=-90;% Mure vers l'est
[angri(i)]=fonction1(angH(i),Sui,gama,Lati,alpha,decl);
Rayest(i)=fonction2(angri(i),Nj,gama,h(i),Tlo(i),TLs,TCs,Lati,Alti);

%*****Rayonnement d'un CCP*****
gama=0;alpha=0;
for Sui=1:4
[angri(i,Sui)]=fonction1(angH(i),Sui,gama,Lati,alpha,decl);
Rsdd(i,Sui)=fonction2(angri(i,Sui),Nj,gama,h(i),Tlo(i),TLs,TCs,Lati,Alti);
end
end

```

La fonction1 : Pour calculer l'angle d'incidence

La fonction2 : Pour le calcul de rayonnement

Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

III-1-Validation du modèle :

Pour obtenir une validation du rayonnement solaire, nous allons confronter quelques valeurs du rayonnement solaire sur plan horizontal mesurées sur le site d'Adrar, avec les valeurs délivrées par le modèle de Capderou. Le choix de ce site s'est porté sur la disponibilité des données radiométriques au niveau de la station New Energy Algeria (NEAL) installé au siège de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien d'Adrar (URERMS). La station météorologique NEAL comprend un ensemble d'instruments permettant de mesurer les différentes composantes du rayonnement solaire. L'enregistrement du rayonnement solaire direct normal est assuré par un pyrhéliomètre monté sur un système de suivi solaire à deux axes. En outre deux pyranomètres mesurent le rayonnement global et diffus sur un plan horizontal

On présentera sur les figures suivantes, des graphes comparatifs relatifs aux composantes du rayonnement pour une journée hivernale et une autre journée estivale, ainsi que l'erreur relative du rayonnement globale. Le traitement des graphes de la figure III.1 et la figure III.2 montre que d'une manière générale, on peut dire que le modèle de Capderou donne une bonne estimation des deux composantes du rayonnement solaire (la composante direct et diffus) dans la période estivale par rapport à la période hivernale.

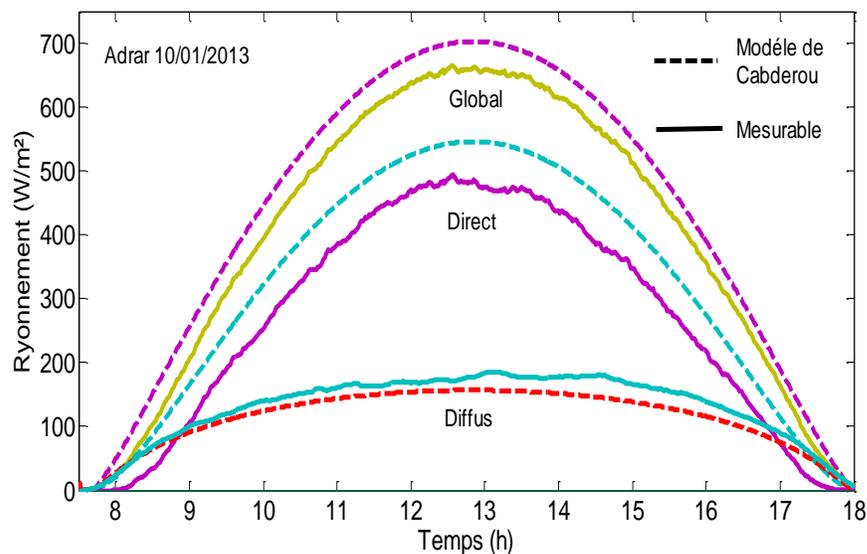


Fig.III.1: Comparaison des résultats pour une journée d'hiver

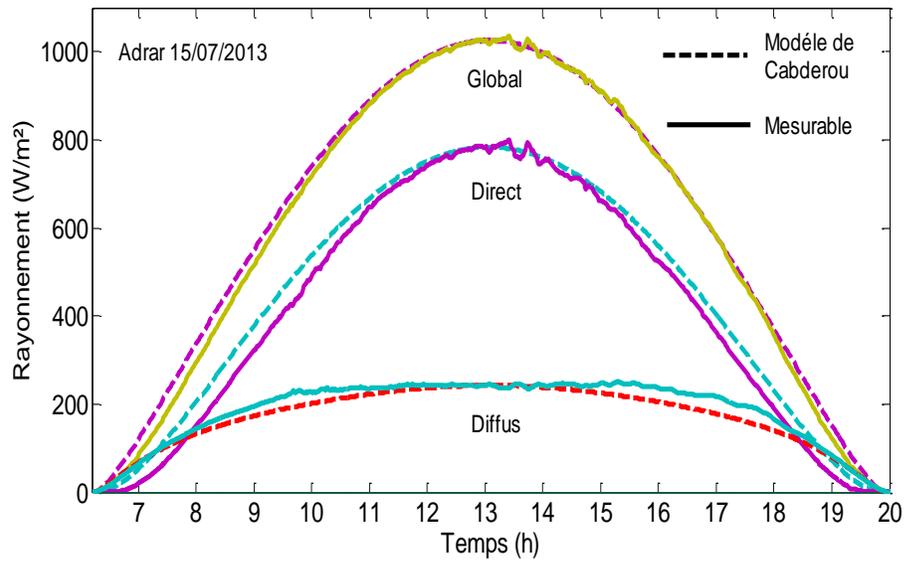


Fig.III.2: Comparaison des résultats pour une journée d'été

D'après la figure III.3, on observe que l'erreur relative du rayonnement globale est supérieure à 5% dans le jour de 10 Janvier 2013. Il semble que le ciel est légèrement couvert dans ce jour, tandis que le modèle de Capderou donne une estimation du rayonnement solaire à ciel clair. Par conséquent, on en déduit que ce modèle peut réaliser une estimation assez fidèle du rayonnement solaire incident dans la région d'Ouargla dans le cas d'un ciel clair.

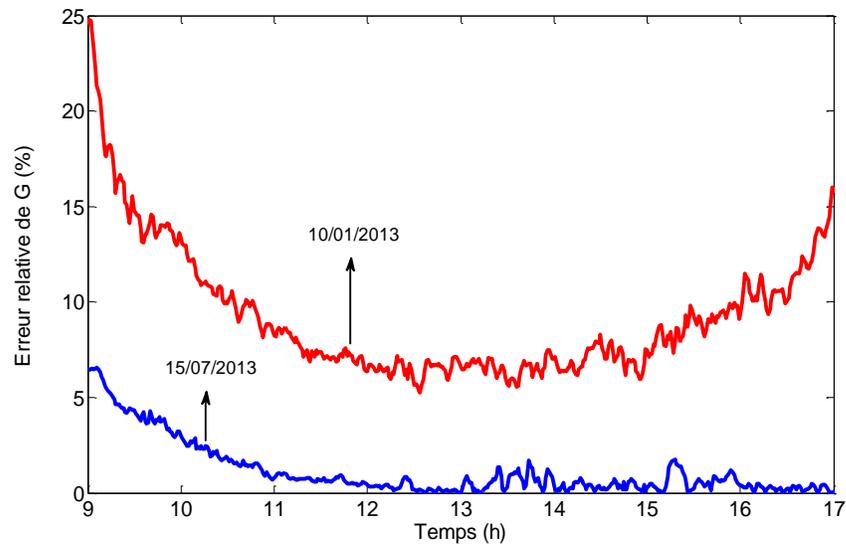


Fig.III.3: Erreur relative de rayonnement global pour les deux journées

III-2-Cas d'un capteur plan :

La figure III.4, représente l'évolution du rayonnement direct reçu par une surface horizontale estimé par le modèle de Capderou pour le mois de janvier et juillet.

On constat que l'énergie solaire reçu augmente avec la durée du jour.

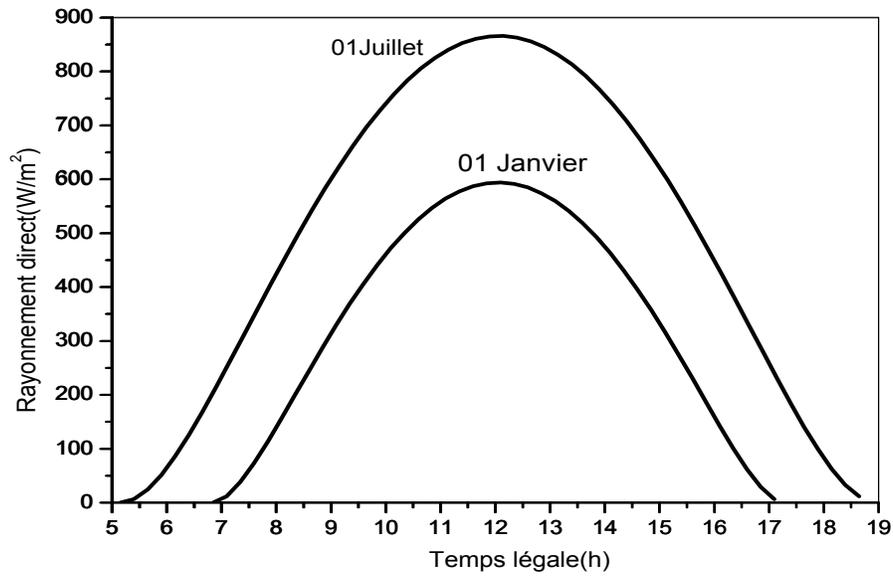


Fig.III.4 Rayonnements direct sur un plan horizontal

III-3-Cas d'un logement :

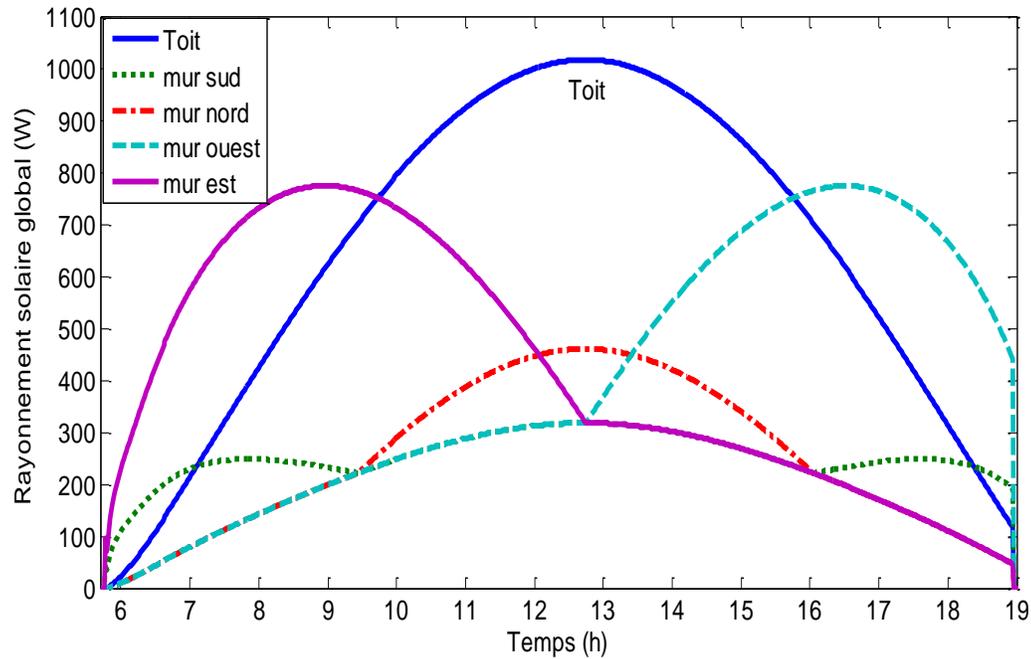


Fig.III.5 Rayonnements incident sur les cinq faces d'une maison

Le rayonnement solaire incident sur les cinq faces d'une maison influe directement sur la charge de climatisation. La figure III.5 montre la variation instantanée du rayonnement solaire global sur le toit et les murs des différentes faces pour un jour représentatif du 15 Juillet. Il est clair que le toit reçoit le maximum du rayonnement solaire et que le mur ouest et est reçoivent le maximum du rayonnement solaire à l'après-midi et le matin respectivement. Par contre l'intensité du rayonnement solaire qui frappe la surface extérieure d'un mur Sud ou Nord est faible par rapport aux autres murs.

III-4- Comparaison Entre Les Modes De Poursuite Solaire D'un Concentrateur solaire Cylindro-Parabolique

Le concentrateur peut être schématisé comme suit :

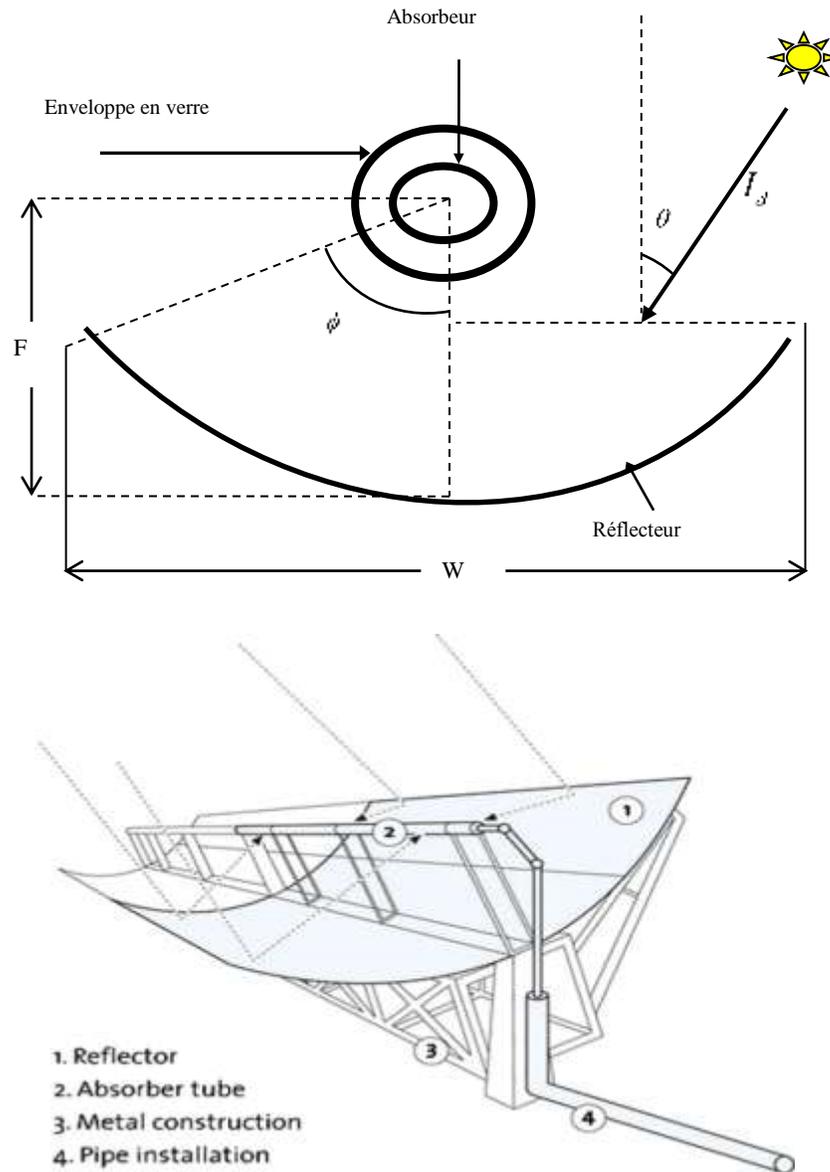


Fig.III.-6 Schéma de principe d'un CCP

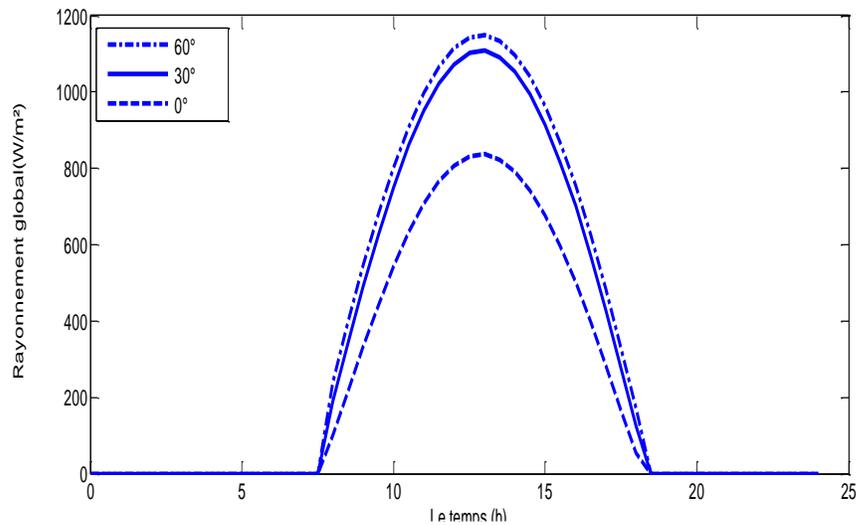


Figure.III.7: Variation du rayonnement direct en fonction de l'angle d'inclinaison

La totalité de l'énergie solaire absorbée par le concentrateur cylindro-parabolique calculée par le modèle de Capderou aux solstices et équinoxes est représentée dans le [tableau III-1](#). Les performances des différents modes de poursuites solaires sont comparées avec celle du mode de poursuite à deux axes, qui collecte le maximum de rayonnement solaire, représentant 100%. On note que l'efficacité optique du concentrateur prend une valeur maximale de 73.92% dans le cas d'un suivi à deux axes. Donc une comparaison entre les trois autres modes à un seul axe est indispensable.

Tableau III.1: Comparaison de l'énergie absorbée suivant les modes de poursuite solaire

Mode de Poursuite	Energie absorbée (KWh/m ²)				Pourcent par rapport à la poursuite totale (%)			
	EP	EA	SE	SH	EP	EA	SE	SH
Poursuite total	9.65	8.5	9.62	7.77	100	100	100	100
Est-Ouest polaire	9.65	8.5	8.83	7.13	100	100	91.12	91.76
Est-Ouest horizontal	9.03	8	9.5	5.6	94.12	94.12	98.75	72.07
Nord-Sud horizontal	6.82	6.1	7.17	6.42	70.67	71.56	74.53	82.62

EP:Equinoxe de printemps, **EA**:Equinoxe d'automne.
SE:Solstice d'été, **SH**:Solstice d'hiver

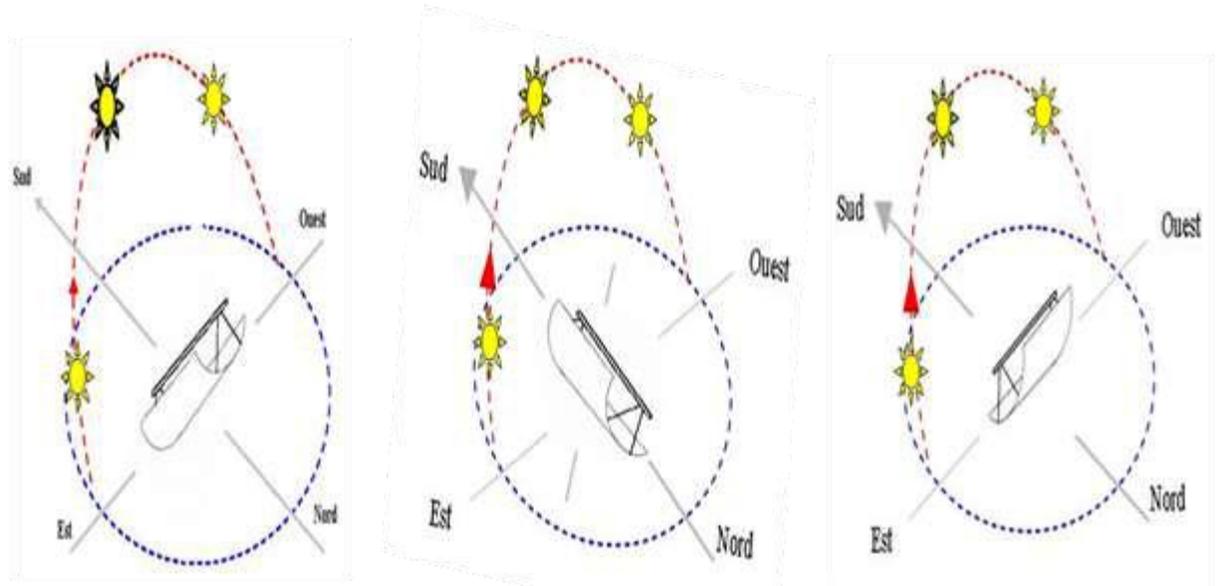


Figure.III.8: mode de poursuite solaire d'un CCP

D'après le tableau 111.1, on observe que la performance des modes Est-Ouest polaire et Est-Ouest horizontal au printemps et en automne (les Equinoxes) est très proche de la performance du mode de poursuite à deux axes. Même remarque en été (Solstice d'été) avec une amélioration dans l'efficacité optique du mode Est-Ouest horizontal par rapport au mode Est-Ouest polaire. Par contre en hiver (Solstice d'hiver) le mode Nord-Sud horizontal devient plus souhaitable par rapport au mode Est-Ouest horizontal, on peut voir cette amélioration sur la figure III.6. Malgré la chute de performance, la course du moteur de poursuite dans le mode Nord-Sud horizontal est très petite par rapport aux autres modes de poursuite solaire, ce qui diminue la consommation d'énergie électrique dans ce mode.

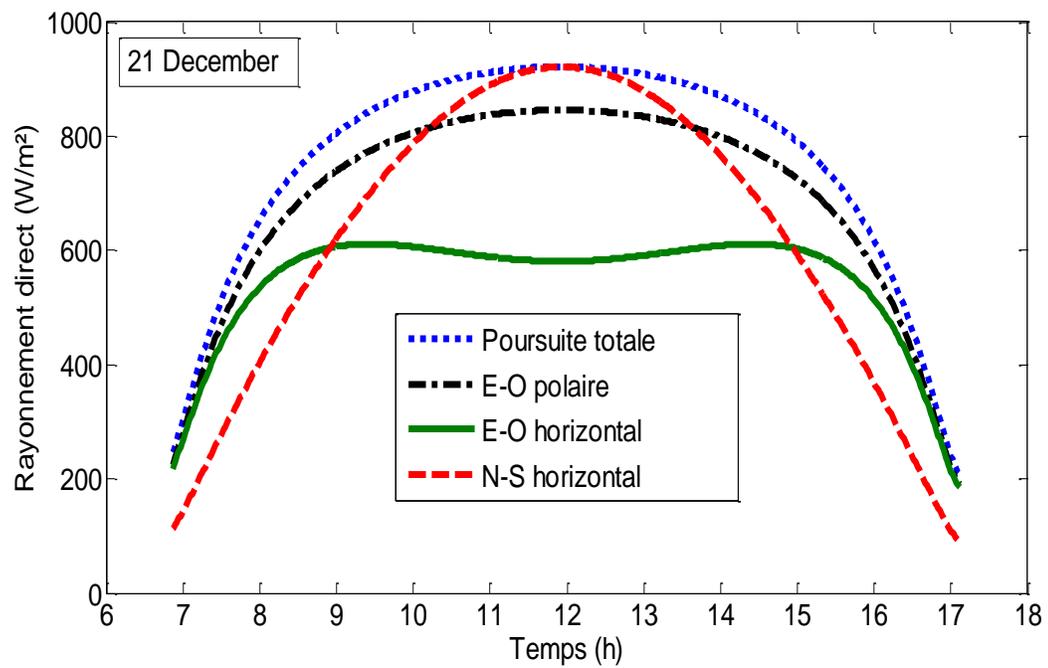


Figure.III-9: Variation du rayonnement direct en fonction du temps

CONCLUSION

CONCLUSION

A travers cette étude, nous avons essayé de faire une analyse sur le modèle Atlas Solaire de l'Algérie qui nous a servi référence pour établir notre simulation de l'estimation du rayonnement solaire. Une validation du modèle de Capderou est acceptable vu la marge d'erreur est faible et rayonnement est important.

Les résultats obtenus approuvent le choix du modèle, vu l'approche des résultats simulée et les résultats expérimentaux.

Dans le cas d'un logement le toit reçoit plus de rayonnement que les autres, les murs nord et sud en reçoivent moins. Donc il sera important de bien choisir l'orientation de la pose d'un logement ou d'un immeuble .

Quel que soit le système à installer sur un mur d'un immeuble ou concentrateur parabolique, pour avoir un bon résultat est issu d'une bonne orientation de ceux-ci.

L'Algérie est l'un des pays à fort rayonnement solaire, donc il est assez important que les études soient dans le sens d'augmenter le rendement et de varier les systèmes d'exploitation de cette source d'énergie pour en arriver à des résultats rentables économiquement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Alain Ricaud, 2011. Gisement solaire et transferts énergétiques, Université de CERGY-PONTOISE,
- [2] Capdrou. M, 1987. Atlas Solaire de l'Algérie, Modèles Théoriques et Expérimentaux, Volume1, Tome 2 ; Office des Publications Universitaires, Algérie.
- [3] Trabelsi.A, Masmoudi.M, 2011. An investigation of atmospheric turbidity over Kerkennah Island in Tunisia. *Atmospheric Research* 101, 22–30.
- [4] Yaiche.M.R, Bouhanik.A, Bekkouche.S.M.A, Malek.A, Benouaz. T, 2014. Revised solar maps of Algeria based on sunshine duration. *Energy Conversion and Management* **82**, 114–123.
- [5] Mefti. A, Bouroubi. MY, Adane. A, 2003. Generation of hourly solar radiation for inclined surfaces using monthly mean sunshine duration in Algeria. *Energy Conversion and Management* 44, 3125–3141.
- [6] Boukélia Taqiy Eddine, Mecibah Mohamed-Salah, Meriche Imad Eddine, 2014. General models for estimation of the monthly mean daily diffuse solar radiation (Case study: Algeria). *Energy Conversion and Management* **81**, 211–219.
- [7] Yacef.R, Mellit.A, Belaid.S, Sen.Z, 2014. New combined models for estimating daily global solar radiation from measured air temperature in semi-arid climates: Application in Ghardaïa, Algeria. *Energy Conversion and Management* **79**, 606–615.
- [8] Eltbaakh. Yousef A, Ruslan. M. H, Alghoul. M. A, Othman M.Y, Sopian.K, Razykov. T.M, 2012. Solar attenuation by aerosols: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 4264–4276.
- [9] Kasten.F, 1996. The Linke turbidity factor based on improved values of the integral Rayleigh optical thickness. *Solar Energy* **56** (3), 239–244.
- [10] Louche. A, Peri. G, Iqbal. M, 1986. An analysis of Linke turbidity factor, *Solar Energy* **37** (6), 393-396.