

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES

Thème

Réalisation d'un mini laboratoire interactif de calcul du gisement solaire sous
MATLAB (Logiciel GUI)

Soutenu le : 24 / 05 / 2017

Présenté par :

AGHIAT Nacira

M'HAMMEDI Fatima

Encadré par : Dr. YAICHI MOHAMMED

Président : Mr. BENATILLA DJELOUL

Examineur : Dr. MAOUEDJ RACHID

2016 - 2017

Remerciements

Nous remercions en premier lieu Dieu tout puissant pour notre avoir Accordé la puissance et la volonté de terminer ce travail.

Ce travail de master a été préparé et réalisé au Département des sciences technologies de l'Université Ahmed draia Adrar en collaboration avec l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien Adrar.

*La première personne que nous tenons à remercier est notre encadreur « **Dr. YAICHI Mohammed** », pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

*Nous remercions aussi le président : Mr. Bonatillah Jeloul et l'examineur :
Dr. Maouedj Rachid*

pour d'avoir accepté de juger ce travail, ainsi que tous les enseignants sans exception.

J'adresse également mes sincères remerciements et ma gratitude à tous ceux qui ont contribué et aidé à assurer la réussite et l'achèvement de cette Étude et une mention spéciale:

Dr. T. Boussaïa, Mr. A. Elkharaz, Mr. Z. Saadi

Je souhaite maintenant remercier mes collègues amis et frères d'Université Ahmed draia Adrar,

Un grand merci à mes amis à qui nous souhaitons beaucoup de réussite, à M. Benhassan, A. Zoui, A. Hadaji, S. Kharrassi, W. Hadj Kouider, A. Temmam, H. Aziz.

*Fatima
et
Nacira*

Sommaire

Introduction générale	2
------------------------------------	---

CHAPITRE I :

Gisement Solaire

I-1.Introduction	5
I-2.Gisement solaire	5
I-2-1.Le soleil	5
I-2-2. Le système terre-soleil	6
I-2-2_1. Coordonnées terrestres	7
I-2-2_2. Positions du soleil	7
I-2-2_3. Temps solaire – temps légal	9
I-2-3. Rayonnements solaires	10
I-2-3_1. Facteur de trouble de Link	11
I-2-3_2. Albédo	13
I-2-3_3. Fraction d’insolation	13
I-2-3_4. Spectres de référence.....	14
I-2-3_5. Rayonnements direct et diffus.....	14
I-2-4. Mesure du rayonnement solaire	15
I-2-5. Rayonnement solaire sur un plan incliné	16
I-2-5_1. Définitions géométriques	16
I-2-5_2. Modèle de transposition	16
I-3. Validation les modèles par des résultats expérimentaux	18
I-4. Conclusion	25

CHAPITRE II :**Analyse et contribution à l'amélioration des gains énergétiques solaires : Cas du système
poursuite discontinu de soleil**

II-1 . Introduction.....	27
II-2 . Rayonnement par ciel clair, modèle européen 2000	28
II-2-1 . Rayonnement direct horizontal	28
II-2-2 . Rayonnement direct sur un plan incliné.....	28
II-2-3 . Rayonnement diffus horizontal.....	29
II-2-4 . Rayonnement diffus sur un plan incliné	29
II-2-5 . Validation du modèle par des résultats expérimentaux	30
II-3 . Systèmes de suivi du soleil	33
II-3-1 . Différents type de suivi de soleil	33
II-3-1_1 . Suivi à un axe continu	33
II-3-1_2 . Suivi à deux axes continus.....	33
II-3-1_3 . Suivi à un axe quotidien.....	33
II.3.1_3.1. Poursuite mensuelle.....	33
II.3.1_3.2.Poursuite discontinu à deux positions	35
II-4 . Positionnement des capteurs solaires.....	37
II-5 . Récupération des irradiances horaires dues à l'ombrage (masque pour un pyranomètre)	38
II-5-1 . Principe du taux d'ombrage pendant un mois	38
II-5-2 . Identification des irradiances récupérées pour chaque heure.....	40
II-6 . Conclusion	40

CHAPITRE III :**Aperçu sur Matlab et sur GUI**

III-1 . Introduction	42
III-2 . Définition.....	42
III-2-1 . Lancer Matlab.....	42
III-2-2 . Commandes Matlab de base	43
III-2-3 . Variables.....	43
III-2-4 . Vecteurs, matrices et leurs manipulations	44
III-2-5 . Fonctions de base.....	45
III-2-6 . Types de fichiers.....	45
III-2-6_1 . Fichier .m.....	45
III-2-6_2 . Fichier .mat.....	45
III-2-7 . Contrôler la séquence des instructions	46
III-2-7_1 . Boucle for	46
III-2-7_2 . Contrôle if.....	46
III-2-8 . Affichages graphiques	46
III-3 . Réalisation d'interface Graphiques	46
III-3-1 . Les contrôles.....	47
III-3-1_1 . Les types de contrôles.....	47
III-3-1_2 . Les propriétés des contrôles	48
III-3-2 . Version 10 de MATLAB	51
III-3-2_1 . Création de contrôles	51
III-4 . Conclusion.....	61

CHAPITRE IV :**Réalisation des interfaces de simulation et de calcul des gisements solaires**

IV-1 . Introduction	63
IV-2 . Première interface : Calcul du rayonnement à ciel clair et optimisation des performances des capteurs solaires	64
IV-2-1 . Cahier des charges	64
IV-2-2 . Création et mise en œuvre	65
IV-2-2_1 . Figure de base	65
IV-2.2_2 . Scripte de l'interface	68
IV-2.2_3 . Exemple	76
IV-3 . Deuxième interface : Reconstituons le rayonnement diffus et estimation l'irradiation sur un plan incliné	81
IV-3.1 . Cahier des charges	81
IV-3-2 . Création et mise en œuvre	82
IV-3.2_1 . Figure de base	82
IV-3.2_2 . Exemple	83
IV-4 . Conclusion	87
Conclusion Générale	89
Annexe	
Bibliographie	

Nomenclature

Lettre	Désignation	Unit
δ	Déclinaison du soleil.	(°)
j	Numéro du jour dans l'année.	
φ	Latitude	(°)
λ	Longitude	(°)
z	Altitude	(m)
HS	Hauteur solaire	(°)
AH	Angle horaire	(°)
AZ	Azimut de soleil	(°)
AH_c	Angle horaire au coucher de soleil	(°)
AH_l	Angle horaire au lever de soleil	(°)
HS_{Max}	Hauteur maximale du soleil	(°)
TSM	Temps solaire moyen	(h)
TU	Temps universelle	(h)
TL	Temps légal	(h)
ET	Équation du temps	(min)
TSV	Temps solaire vrai	(h)
S_0	Durée du jour	(h)
G_0	Rayonnement solaire	(W/m^2)
I_0	Constante solaire	(W/m^2)
m	Masse atmosphérique	
E_{0c}	Eclairement direct dans un plan perpendiculaire au soleil	(W/m^2)
T_{LK}	Facteur de trouble	
ΔT	Facteur additionnel dû à la présence de nuages	
T^*	Facteur de trouble par ciel clair	
T_0	Absorption par la vapeur d'eau	
T_1	Diffusion moléculaire, à l'origine de la couleur bleu foncé du ciel pur	
T_2	Diffusion (et à une légère absorption) par les aérosols rendant le bleu du ciel plus ou moins blanchâtre	
A_{he}	Fonction sinusoïdale d'alternance hiver/été	
σ	Fraction d'insolation quotidienne	
$\bar{\sigma}$	Fraction d'insolation mensuelle	
α	Angle d'incidence	(°)
β	Angle du capteur	(°)
γ	Azimut du capteur	(°)
β_{opt}	Angle d'inclinaison optimal	(°)
γ_{opt}	Angle d'azimut optimal	(°)
ρ	Coefficient d'albédo	
K_t	Indice de clarté	
$H_{hrécu}$	Irradiations récupérées	(KWh/m^2)
K_{SH}	Facteur d'ombrage	
HS_0^{ref}	Altitude solaire	(rad)
K_d	Coefficient de diffusion de l'éclairement	
$\delta_R(m)$	Épaisseur optique de <i>Rayleigh</i> à la masse d'air m	

α_{exp}	Angle d'incidence solaire	(rad)
E_{hd}	Eclairement diffus dans un plan horizontal	(W/m^2)
$T_n(T_{LK})$	Fonction de transmission diffuse au zénith	
E_{ic}	Eclairement direct sur une surface inclinée	(W/m^2)
E_{hc}	Eclairement direct sur une surface horizontale	(W/m^2)
F_d	Fonction de diffusion angulaire	
H_{MH}	Irradiation globale maximale horaire	(KWh/m^2)
Δh_0^{ref}	Composante de réfraction atmosphérique	
$r_i(\beta)$	Fraction du dôme du ciel vue par une surface inclinée	
$Albedo_i$	Eclairement réflexions sur le sol (albédo)	(W/m^2)
$Global_i$	Rayonnement incident sur le plan des capteurs inclinés	(W/m^2)
L	Distance qui sépare l'obstacle du capteur	(m)
$HS_{minimale}$	Hauteur solaire minimale	(rad)

Abréviations

ESRA	European Solar Radiation Atlas, 2000
URER/MS	Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien
GUI	Graphical User Interface
GMT	Greenwich Temps Méridien
IDE	Environnement de Développement Intégré
Matlab	Matrix laboratory

Liste des figures

Figure I-1: Répartition spectrale énergétique	6
Figure I-2: Mouvement de rotation de la terre.....	6
Figure I-3: Coordonnées terrestres.....	7
Figure I-4 : Définition de la position du soleil.....	8
Figure I-5: Composantes du rayonnement solaire Global = direct + diffus + albédo	15
Figure I-6: Pyranomètre (à gauche), Solarimètre (à droite).....	15
Figure I-7: Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , Azimut γ et angle d'incidence α	16
Figure I-8: Photos de la station météorologie (enerMENA High Precision Meteorological Station) installée à URER/MS.....	19
Figure I-9: Photos du système de pompage Photovoltaïque installé à URER/MS.....	19
Figure I-10: Variation des éclairagements globaux, directs normaux et diffus chaque minute sur un plan horizontal et celles sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$ respectivement pour le jour 07/01/2015	20
Figure I-11: Variation des éclairagements globaux, directs normaux et diffus chaque minute sur un plan horizontal et celles sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$ respectivement pour le jour 30/01/2015	20
Figure I-12: Irradiations horaire mesurés et estimées pour le jour 07/01/2015	22
Figure I-13: Irradiations horaire mesurés et estimées pour le jour 30/01/2015.....	24
Figure II-1: Eclairagements globaux mesurés et estimés sur un plan horizontal, pour le jour 30/01/2015.....	31
Figure II-2: Eclairagements globaux mesurés et estimés sur un plan incliné par un angle égal à 34° et orienté plein sud, pour le jour 27/01/2016.....	31
Figure II-3: Eclairagements globaux mesurés et estimés sur un plan incliné par un angle égal à 34° et orienté plein sud, pour le jour 01/10/2016.....	32
Figure II-4: Eclairagements globaux mesurés et estimés sur un plan incliné par un angle égal à 34° en poursuite discontinue (azimut de capteur -44° pour le Est et 44° pour l'Oust), pour le jour 24/02/2015	32
Figure II-5: Concept de la poursuite mensuelle.....	34
Figure II-6: Algorithme de la méthode employée pour déterminer l'angle d'inclinaison optimal β_{opt} pour la poursuite mensuelle.....	34
Figure II-7: Concept de la poursuite solaire discontinue à axe vertical avec deux positions.....	35

Figure II-8: Algorithme de la méthode employée pour déterminer l'angle d'azimut optimal γ_{opt} pour la poursuite discontinue à deux positions	36
Figure II-9: Positionnement du générateur par rapport aux obstacles	38
Figure II-10: Coordonnées d'un obstacle	38
Figure II-11 : Exemple typique de l'effet d'ombrage	39
Figure III-1: Bouton-poussoir.....	47
Figure III-2: Case à cocher	47
Figure III-3: Bouton radio	47
Figure III-4 : Barre de défilement ou Slider	48
Figure III-5: Zone de texte statique	48
Figure III-6: Zone de texte éditable.....	48
Figure III-7: Fenêtre de guide.....	51
Figure III-8: Figure de base de l'exemple 01	52
Figure III-9: Figure activée de l'exemple 01	53
Figure III-10: Figure de base de l'exemple 02	56
Figure III-11: Figure activée de l'exemple 02.....	56
Figure III-12: Figure basée de l'exemple 03	58
Figure III-13: Tableau des propriétés	59
Figure III-14: Création de callback	59
Figure III-15: Figure activée de l'exemple 03.....	61
Figure III-16: Figure base de l'exemple 04	62
Figure III-17: Figure activée de l'exemple 04.....	62
Figure IV-1: Figure de base	66
Figure IV-2: Interface du cielclair_opt activée	66
Figure IV-3: Format de fichier .mat de temps (dimensions (60×24) lignes × 1 Colonne)	67
Figure IV-4: Exemple 1	76
Figure IV-5: Exemple 2	77
Figure IV-6: Exemple 3	77
Figure IV-7: Exemple 4	78
Figure IV-8: Exemple 5	79
Figure IV-9: Exemple 6	79
Figure IV-10: Exemple 7	80
Figure IV-11: Exemple 8	80
Figure IV-12: Figure de base	82

Figure IV-13: Interface du estima_Irradiation activée.....	83
Figure IV-14: Forme de fichier .mat.....	84
Figure IV-15: Exemple 9	84
Figure IV-16: Exemple 10	85
Figure IV-17: Exemple 11	86
Figure IV-18: Exemple 12	86

Liste des tableaux

Tableau I-1: Valeur des coefficients du facteur de trouble pour les différents cas.....	12
Tableau I-2: Valeurs du coefficient β en fonction de l'état visuel du ciel	12
Tableau I-3: Valeurs du facteur de trouble calculé et de la fraction d'ensoleillement de l'Atlas solaire Algérien (<i>Capderou</i>) pour le site d'Adrar	13
Tableau I-4: Valeur de la constante solaire en fonction de l'épaisseur m d'atmosphère traversée	14
Tableau I-5: Valeurs d'irradiation journalier (Somme journalière)	20
Tableau II-1: Valeurs de l'angle d'inclinaison optimal β_{opt} trouvée pour le site d'Adrar.....	35
Tableau II-2: Valeurs de l'angle d'azimut optimal γ_{opt} trouvée pour le site d'Adrar.....	37
Tableau III-1: Aide via la fenêtre de commande.....	43
Tableau III-2: Fonctions utiles liées à l'espace de travail	43
Tableau III-3: Fonctions graphiques utiles.....	43
Tableau III-4: Propriétés des contrôles courantes et leurs significations.....	49

Introduction Générale

Introduction générale

Les énergies renouvelables sont une réalité quotidienne au service du développement et de l'environnement. Dans ce cadre, la disponibilité de l'énergie (électrique, thermique,...) représente un des problèmes les plus urgents que rencontrent plusieurs pays en voie de développement. La plus grande partie de la population touchée par ce problème se retrouve en milieu rural, éloignée des grands réseaux de distribution d'électricité dont l'extension s'avère trop coûteuse pour les territoires isolés, peu peuplés ou à accès difficiles.

Pour tenter de résoudre cette crise, l'utilisation de systèmes solaire en utilisant l'énergie solaire est reconnue comme étant l'un des moyens efficaces de prévention active pour irriguer des terrains agricoles, l'adduction en eau potable des populations, chauffage d'eau, en termes d'autonomie, de fiabilité et de performance. Les systèmes solaires ne contiennent aucune pièce mobile. Ils sont fiables, requièrent peu d'entretien, sont silencieux et ne produisent aucune émission de polluants.

Afin de pouvoir obtenir un bon dimensionnement d'un système solaire, il est indispensable d'évaluer le gisement solaire et l'apport énergétique. L'intensité du rayonnement solaire est extrêmement variable suivant :

- la localisation géographique du site (spécialement par rapport à sa latitude) ;
- l'heure et la saison ;
- les conditions météorologiques (nébulosité, poussière, humidité...) ;
- l'altitude du lieu.

Bien que les connaissances sur le gisement solaire pour une zone géographique soient et restent indispensables, il est nécessaire d'effectuer beaucoup des mesures expérimentales et pour plus une année, il devient de plus en plus urgent de prospecter également d'autres voies menant à la compréhension de tous les données régissant les irradiations solaires des sites données et étudier les performances des systèmes solaires.

Parmi ces voies, la simulation des systèmes solaire et l'analyse de leurs performances grâce aux ordinateurs. Cela requiert moins de matériel (un seul ordinateur suffit pour étudier les irradiations solaires dans une infinité de régions quel que soit leur caractéristique géographique, moins de temps (la vitesse d'exécution des programmes permet de simuler plusieurs cas de figures en quelques secondes), et tous cela sans danger pour les utilisateurs et presque sans coût de revient (pas de consommables à recharger). En effet, l'étude de ces systèmes requiert le passage par des modèles du rayonnement solaire. Le but de cette modélisation est de fournir aux chercheurs toutes les informations nécessaires pour dimensionner les systèmes solaires et analyser leurs performances de fonctionnement.

Le développement des outils informatiques a connu un essor considérable ses dernières années. Les logiciels de simulation sont de plus en plus nombreux, de plus en plus performants, mais surtout, de plus en plus complexes. Parmi ces logiciels, Matlab, qui n'a pas seulement contribué au développement actuel des méthodes de programmation, il a aussi participé à l'essor de la création des interfaces interactives. Il devenait urgent de faire bénéficier les étudiants et les

chercheurs de toutes les possibilités qu'offre ce logiciel par une méthode simple, et durant laquelle les étudiants perdent de vue les théories de gisement solaire.

Les buts de ce mémoire sont donc :

- De proposer un guide de réalisation d'interfaces graphiques interactives permettant le calcul des gisements solaire à ciel clair en utilisant un sous logiciel de Matlab, GUI pour Graphical User Interface : un générateur d'applications en quelques sortes.
- Construire plusieurs réalisations concernant, l'optimisation d'inclinaison et d'orientation des capteurs solaires pour augmenter l'irradiation reçu le capteur solaire, séparation l'éclairement direct/diffus, détermination l'irradiation horaire sur un plan incliné à partir des données mesurées sur un plan horizontal et aussi quelques données astronomiques pour une journée donnée.
- Cette réalisation n'intéresse pas, en effet, uniquement les chercheurs qui travaillent dans le domaine solaire, mais aussi les amateurs qui aiment, par goût, construisent de leurs mains, des interfaces dont ils ont besoins. Sans aucune connaissance spéciale, un amateur pourra, grâce aux nombreux détails contenus dans ce document, réaliser sans difficultés, toutes les interfaces dont il aura besoin pour son application. Nous avons réduit aux stricts nécessaires les considérations théoriques ; en revanche, nous avons fourni de nombreux détails relatifs à la construction des interfaces.

Organisation générale du mémoire

Le premier chapitre de notre travail est consacrée au gisement solaire et au calcul de l'éclairement solaire pour un site géographique donné (en particulier le site d'Adrar). La connaissance de ces données nous sera utile pour notre mémoire. Pour comprendre les théories de cette énergie solaire et en optimisant son utilisation, nous effectuons, dans cette partie, un bref rappel des principales relations entre les diverses grandeurs physiques avant d'introduire la notion de l'optimisation des capteurs solaires.

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons le modèle européen à ciel clair. Nous analyserons différentes composantes de ce modèle. Nous serons ensuite en mesure de valider par des données expérimentales. Ce modèle est utilisé en modifiant certains des paramètres de capteur solaire d'obtenir une installation solaire optimisée.

Le chapitre suivant s'intéresse à l'initiation à Matlab et à GUI.

En dernière chapitre, nous avons réalisé deux interfaces interactives permettre de fournir des résultats selon les objectif cité au-dessus dans les but de ce travail.

Enfin, nous terminerons, par une conclusion sur l'ensemble de notre étude.

CHAPITRE I

Gisement Solaire

Gisement Solaire

I-1. Introduction

L'énergie solaire est l'énergie électromagnétique liée au rayonnement émis par le soleil. Cette énergie est à l'origine des ressources énergétiques fossiles, accumulées au cours des ères géologiques, comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel, et des ressources naturelles renouvelables, comme le rayonnement solaires et l'énergie éolienne ou hydraulique [01]. Par l'utilisation des capteurs solaires, en produisant de la chaleur ou de l'électricité sans effet de serre, l'exploitation de l'énergie produite à partir de l'énergie solaire est de loin le meilleur moyen de satisfaire nos besoins en énergie tout en protégeant notre environnement.

Toutefois, la conception et le dimensionnement d'un système solaire sont subordonnés à la connaissance du gisement solaire disponible. Cette partie doit nous amener à évaluer précisément le potentiel énergétique qu'on peut attendre du rayonnement solaire dans un lieu particulier (ex : la zone de la wilaya d'Adrar où se situe la partie expérimentale de ce travail de recherche). Après la géométrie solaire, nous verrons l'origine et la structure de l'énergie qui nous vient du soleil. Les données météorologiques déterminent l'énergie disponible pour le plan horizontal ; elles doivent être transposées dans le plan incliné des capteurs, en tenant compte de divers effets perturbateurs tels que l'horizon, les réflexions du sol et les ombrages d'objets proches éventuels. Dans ce chapitre, on présente les modèles empiriques pour déterminer l'irradiation solaire sur le plan considéré en fonction de quelques paramètres météorologiques, de reconstituer des irradiances diffuses sur un plan horizontal pour un ciel quelconque et les formules mathématiques pour établir l'énergie réceptionnée par un capteur incliné.

I-2. Gisement solaire

I-2-1. Le soleil

Le soleil est une sphère de matière gazeuse, composée principalement d'hydrogène et d'hélium, dont le diamètre atteint environ 1.4million de *km* [02]. Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0.22 à 10 microns (μm). La figure I.1 représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi [03] :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0.4\mu m$) ;
- 47% dans la bande visible (0.4 à $0.8\mu m$) ;
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0.8\mu m$).

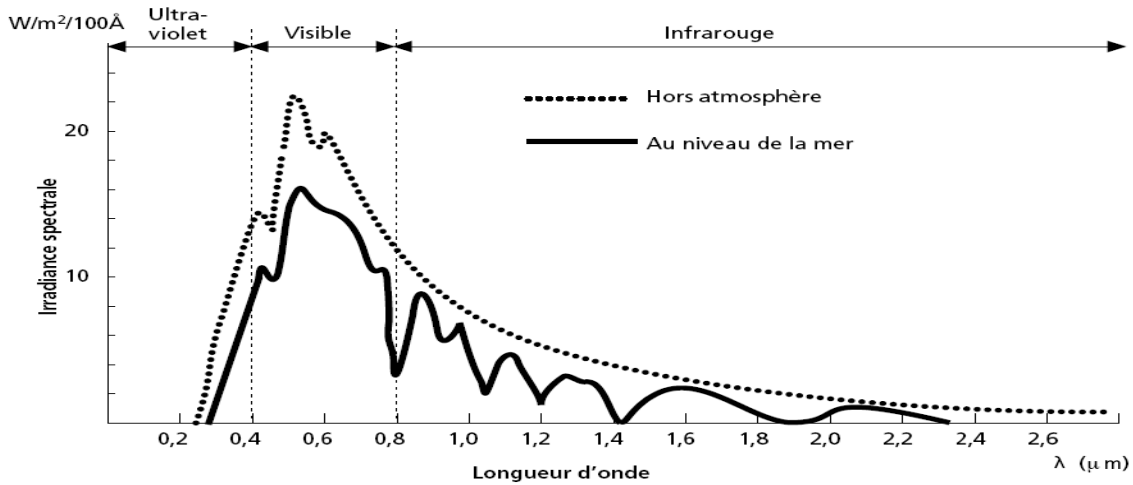


Figure I.1 : Répartition spectrale énergétique

I-2-2. Le système terre-soleil [02]

La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe l'un des foyers (figure I.2). Sa distance moyenne est de 149.6 millions de *km*, avec une variation de $\pm 1.7\%$. La terre traverse le grand axe de l'ellipse le 2 janvier (position la plus proche) et le 2 juillet (la plus éloignée du soleil). Depuis la terre, le diamètre apparent du soleil est vu sous un angle de 0.5° . L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de $23^\circ 27'$ (23.45°) par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre). On appelle «déclinaison», l'angle formé par l'axe terre-soleil avec le plan de l'équateur à un moment (ou bien à une journée) donné de l'année. La déclinaison δ vaut donc $+23^\circ 27'$ au solstice d'été, $-23^\circ 27'$ au solstice d'hiver, et est nulle aux équinoxes. Dans l'approximation d'une trajectoire circulaire, la déclinaison s'écrit, pour chaque jour de l'année :

$$\delta \cong 23.45^\circ \sin\left(360 \left(\frac{284+j}{365}\right)\right) \tag{I-01}$$

Où j , le numéro du jour dans l'année écoulés depuis 1^{er} Janvier et les angles sont exprimés en degrés.

La déclinaison étant une fonction sinusoïdale, elle varie rapidement au voisinage des équinoxes ($0.4^\circ/\text{jour}$), alors qu'elle est pratiquement stationnaire durant les périodes qui encadrent les solstices d'été et d'hiver.

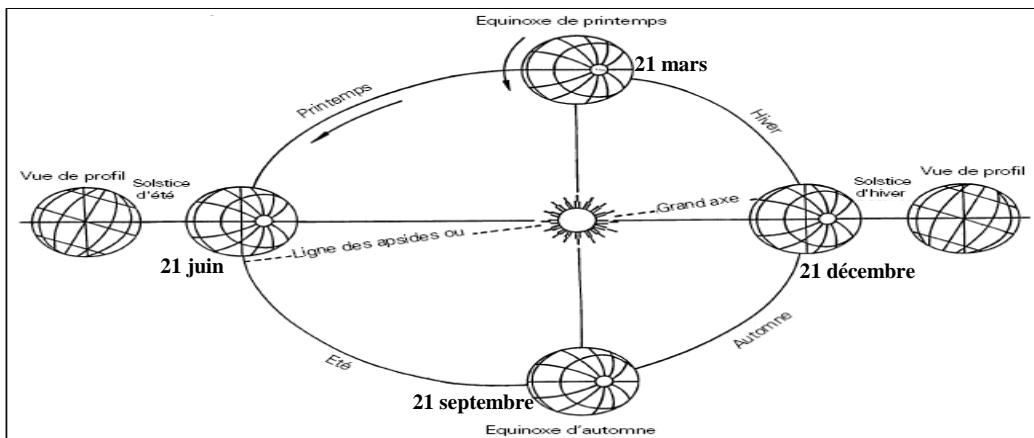


Figure I.2 : Mouvement de rotation de la terre

I-2-2_1. Coordonnées terrestres [01]

Toute application solaire nécessite la connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre, caractérisé par sa latitude (positive pour l'hémisphère Nord) et sa longitude (définie par rapport au méridien de *Greenwich*, positivement vers l'Est) (figure I.3).

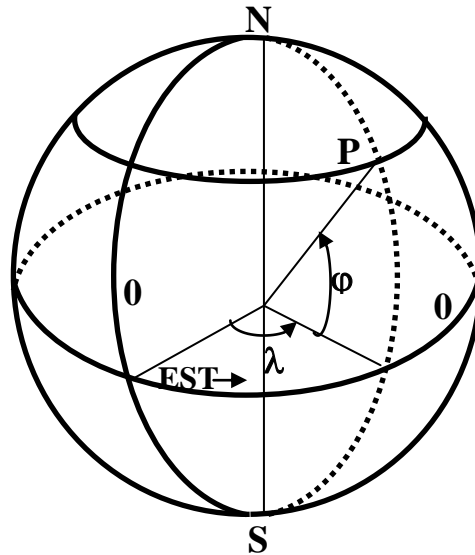


Figure I.3 : Coordonnées terrestres

La latitude : La latitude d'un lieu correspond à l'angle, avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle Nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle Sud par la latitude -90° . Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère Nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère Sud. La latitude sera désignée ici par la lettre φ . La latitude d'un lieu peut ainsi être comprise entre -90° et $+90^\circ$.

La longitude : La longitude d'un lieu correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien d'origine 0° le plan passant par l'observatoire de *Greenwich*. Par convention, on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'Est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'Ouest. La longitude sera désignée ici par la lettre λ . La longitude d'un lieu peut ainsi être comprise entre -180° et $+180^\circ$.

L'altitude d'un point : Correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique, le géoïde ; figurant sur le niveau moyen de la mer. On l'exprime, généralement, en mètre et désigné par z .

I-2-2_2. Positions du soleil [02, 04, 05]

Au cours de la journée, l'instant où le soleil passe par le méridien du lieu de l'observateur est le midi «vrai». Pour un instant quelconque, l'angle horaire AH est l'angle, projeté sur le plan de l'équateur, entre le soleil et le midi vrai.

La position du soleil est définie par deux angles : sa hauteur HS –l'angle entre le soleil et le plan horizontal du lieu– et son azimut AZ –l'angle avec la direction du sud, compté négativement vers l'Est (sens anti-trigonométrique dans l'hémisphère Nord)- (figure I.4).

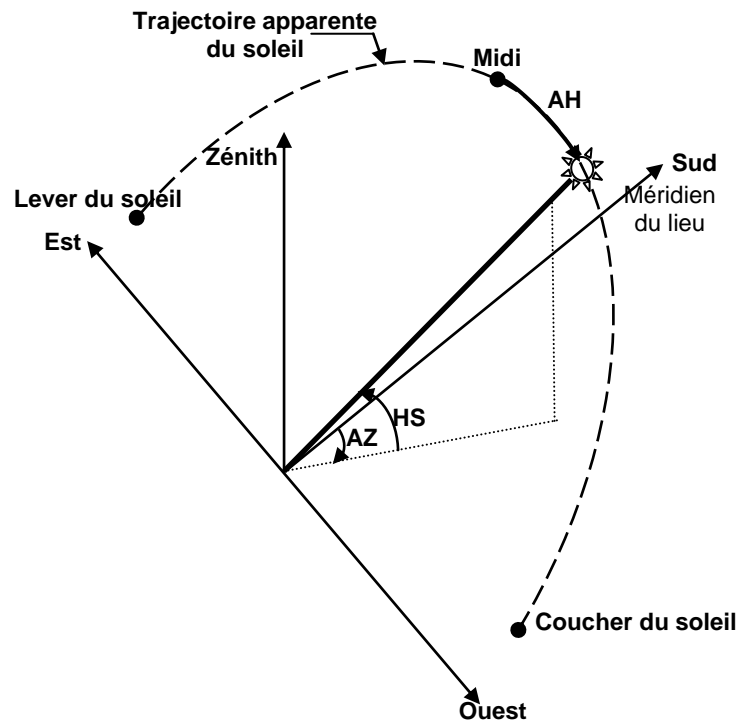


Figure I.4 : Définition de la position du soleil

Le calcul de la position du soleil est fonction de la déclinaison (soit le jour de l'année), la latitude et l'angle horaire ; il est effectué à l'aide des expressions suivantes :

$$\sin(HS) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(AH) \quad (I-02)$$

$$\sin(AZ) = \frac{\cos(\delta) \sin(AH)}{\cos(HS)} \quad (I-03)$$

On pourra tirer de nombreuses valeurs remarquables de ces deux expressions. Par exemple, l'heure du lever du soleil est donné par la condition $HS=0$, soit :

$$\cos(AH) = -\operatorname{tg}(\varphi) \cdot \operatorname{tg}(\delta) \quad (I-04)$$

On a deux valeurs de AH : le coucher correspond à la valeur positive, AH_c , et le lever à la valeur négative, AH_l .

$$\begin{cases} AH_c = \arccos(-\operatorname{tg}(\varphi) \cdot \operatorname{tg}(\delta)) \\ AH_l = -AH_c \end{cases} \quad (I-05)$$

Exemple : Soit, pour notre région d'Adrar 27.88° ($27^\circ 53' N$) de latitude ; -0.28° ($0^\circ 17' W$) de longitude) ;

Le 12 Novembre, on a $\delta = -17.6^\circ$, $\cos(AH) = 0.167$,

$AH_c = 80.3391^\circ$ donc $AH_l = -80.3391^\circ$.

En heures $AH_c = \frac{80.3391}{15} = 5.35 \text{ heures}$, soit 5 heures et $0.35 \times 60 = 21$ minutes ; donc le coucher du soleil à lieu à $17^H : 21$ et le lever du soleil à lieu à $06^H : 39$.

Ou encore : la hauteur maximale du soleil (à midi solaire) :

$$HS_{Max} = 90^\circ - \varphi + \delta \quad (I-06)$$

A Adrar, $HS_{\text{Max}}=85.74^\circ$ au solstice d'été et 39.2° en hiver.

La durée du jour, d , en heures, est par définition :

$$d = S_0 = \frac{AH_c - AH_l}{15} = \frac{2 \cdot AH_c}{15} = \frac{2 \cdot \arccos(-\text{tg}(\varphi) \cdot \text{tg}(\delta))}{15} \quad (\text{I-07})$$

I-2-2_3. Temps solaire – temps légal [01, 02]

La rotation régulière de la terre sur elle-même, autour de l'axe des pôles, détermine la succession des jours et des nuits. Une rotation complète de la terre (360°) correspond à 24 heures, en moyenne ; il vaut 15° par heure, soit 4 minutes de temps par degré de longitude.

Le méridien retenu comme origine est celui de *Greenwich* (GMT) et le temps de ce méridien est le temps universel TU. L'heure de passage du soleil au méridien correspondant à la longitude λ se déduit de l'heure de passage du soleil au méridien origine augmentée de 4 minutes par degré de longitude d'écart entre le méridien d'origine 0° et la longitude λ .

Les montres et horloges, mécaniques ou à quartz, mesurent le temps solaire moyen, et les temps légaux TL utilisés dans chaque pays correspondent approximativement aux temps solaire moyens du fuseau de longitudes où il se situe, avec un décalage fixe par rapport au temps du méridien origine TU, décalage généralement exprimé en heures entières. L'Algérie est dans le fuseau horaire N°1 (TL=TU+1). Connaissant l'heure légal du pays, on en déduit facilement l'heure TU et, par la correction de longitude indiquée, le temps solaire moyen TSM d'un lieu de longitude définie.

$$TSM = TU + \lambda / 15^\circ \quad (\text{I-08})$$

Bien que la terre tourne très régulièrement sur elle-même, les passages du soleil au méridien d'un lieu donné ne se succèdent pas exactement à 24 heures d'intervalle, et le midi vrai peut différer légèrement de 12h TSM (lorsque le soleil est à son zénith [06]) selon l'époque de l'année. Au méridien origine, par exemple, ce passage du soleil (midi vrai) peut présenter une avance ou un retard susceptible d'atteindre 15 à 20 minutes par rapport à midi exprimé en temps universel (temps solaire moyen du méridien origine). Cet écart variable entre le temps solaire moyen TSM et le temps solaire vrai TSV est dû pour les deux raisons suivantes :

- L'orbite de la terre est elliptique, et l'arc parcouru diffère selon la loi des aires de *Képler*. Cette contribution suit un comportement sinusoïdal d'amplitude $\pm 7.8 \text{ minutes}$;
- L'obliquité de l'axe de rotation induit une seconde correction, ayant l'allure d'une sinusoïde avec une période de 6 mois, et une amplitude de $\pm 10 \text{ minutes}$.

La composition de ces deux corrections, appelée équation du temps ET. L'équation du temps varie lentement d'année en année, sous l'effet de la précession des équinoxes (rotation du grand axe de l'ellipse d'environ 20 minutes par an, soit un tour en 26000 ans). Elle peut être exprimée par [01] :

$$ET[\text{min}] = 9.9 \sin[2(0.986 \cdot j + 100)] - 7.7 \sin(0.986 \cdot j - 2) = TSV - TSM \quad (\text{I-09})$$

Où j , le numéro du jour dans l'année écoulés depuis 1^{er} Janvier et les angles sont exprimés en degrés.

A la notation de TSV se rattache celle d'angle horaire de soleil ω , qui est l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. Pour un lieu de longitude λ donnée, il existe ainsi une correspondance directe entre le TSV et l'angle horaire ω du soleil.

$$AH = \omega = 15(TSV - 12) \quad (I-10)$$

où ω est mesuré en degrés et TSV en heures.

$$\text{donc : } \omega = 15 \left(TU + \lambda / 15^\circ + ET - 12 \right) \quad (I-11)$$

Remarque : Les heures de lever et de coucher du soleil cités dans le § I-2-2_2 sont des temps en heures TSV.

I-2-3. Rayonnements solaires

L'ensoleillement (E) correspond à l'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan à un moment donné. Il s'exprime habituellement en watts par mètre-carré (W/m^2) [07]. L'atmosphère terrestre reçoit à incidence normale ce rayonnement à une puissance moyenne de $1.37kW/m^2$, à plus ou moins 3%, selon que la terre s'éloigne ou se rapproche du soleil dans sa rotation autour de celui-ci [03]. L'atmosphère en absorbe toutefois une partie (renvoyée dans l'espace, 35 à 40% sont réfléchis et diffusée par les gaz et aérosols atmosphériques et une absorption lors de sa traversée de l'atmosphère), de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement $1.2kW/m^2$ ($1200W/m^2$).

La valeur du flux de rayonnement solaire E_0 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 I_0 est appelée la constante solaire, elle vaut $I_0 = 1367W/m^2$. En première approximation, on peut calculer la valeur de G_0 en fonction du numéro du jour de l'année j par [08] :

$$G_0 = I_0 \left(1 + 0.03344 \cos(j' - 0.048869) \right) \quad (I-12)$$

Où $j' = \frac{2\pi j}{365.25}$, j le numéro du jour dans l'année écoulés depuis 1^{er} Janvier et les angles sont exprimés en radian.

La rotation et l'inclinaison de la terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison, d'une manière que l'ensoleillement varie de zéro, au lever ou au coucher du soleil, à sa valeur maximale, typiquement au midi solaire. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes qui tantôt augmentent, tantôt diminuent le rayonnement solaire et le rendent diffus [03]. L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie pose donc un problème bien particulier. En effet, le rayonnement solaire n'est pas toujours disponible ; en outre, on ne peut l'emmagasiner ni le transporter. Le concepteur d'un système qui emploie le rayonnement solaire comme source d'énergie doit donc déterminer la quantité d'énergie solaire disponible à l'endroit visé et le moment où cette énergie est disponible.

Le rayonnement global au sol dépend de l'épaisseur d'atmosphère traversée par les rayons lumineux au cours de la journée, on introduit un coefficient (AM) appelé masse atmosphérique ou nombre d'air masse (la perte de l'énergie solaire par l'absorption atmosphérique). Prenant pour référence unité, l'épaisseur verticale de l'atmosphère moyenne réduite à $7.8km$ (conditions

dites normales), supposant cette couche plane et stratifiée horizontalement, la longueur du trajet rectiligne (OM) d'un rayon lumineux incliné d'un angle h par rapport à l'horizontale sera donnée par la formule [09] :

$$OM = \frac{OA}{\sin(h)} \quad (\text{I-13})$$

A une pression p différente de 1013mbar et à une altitude $z[\text{km}]$, on désignera par masse atmosphérique ou nombre d'air masse le nombre :

$$m = \frac{p_m}{1013} \cdot \frac{1}{\sin(HS)} \cdot \exp\left(-\frac{z}{7.8}\right) \quad \text{ou} \quad m = \frac{p_m}{1013} \cdot \frac{(0.88)^z}{\sin(HS)} \quad (\text{I-14})$$

Le spectre solaire AM0 correspond à une masse d'air nulle pour un rayonnement arrivant au-dessus de la couche atmosphérique à incidence normale ;

AM1 : pour un soleil vertical à la terre (le soleil est au zénith) ;

AM1.5 : pour un rayonnement solaire correspondant à une inclinaison du soleil de 45° par rapport au zénith. Le nombre "1.5" indique que le parcours de la lumière dans l'atmosphère est 1.5 fois supérieur au parcours le plus court du soleil, c'est-à-dire lorsqu'il est au zénith [02].

La conversion de l'énergie solaire en une autre forme pose le problème de la modulation du rayonnement solaire. En effet, la conception et l'optimisation des systèmes solaire nécessite des informations détaillées sur les irradiations horaires, directes et diffuses sur le plan considéré. Ces données sont rares et seules sont disponibles celles de l'insolation globale sur un plan horizontal. Par conséquent, des méthodes d'estimation de l'irradiation solaire sur un plan incliné sont nécessaires. En considérant, les données des irradiations horaires sur le plan horizontal, les calculs se font en deux étapes. L'estimation de l'irradiation diffuse et directe puis le calcul de l'irradiation globale sur un plan incliné à partir du globale et du diffus sur le plan horizontal.

I-2-3_1. Facteur de trouble de Link [04, 10]

C'est un coefficient qui détermine l'état du ciel par la présence ou non de nuage, de leur dispersion et d'autres facteurs météorologiques.

La plupart des auteurs travaillant dans ce domaine, utilisent le facteur de trouble de Linke. Il est donné par la relation suivante :

$$T_{LK} = T^* + \Delta T \quad (\text{I-15})$$

T^* : représente le facteur de trouble par ciel clair ;

ΔT : représente le facteur additionnel dû à la présence de nuages.

Le facteur de trouble par ciel clair, T^* se décompose en :

$$T^* = T_0 + T_1 + T_2 \quad (\text{I-16})$$

T_0 : correspond à l'absorption par la vapeur d'eau.

T_1 : correspond à la diffusion moléculaire, à l'origine de la couleur bleu foncé du ciel pur.

T_2 : correspond à la diffusion (et à une légère absorption) par les aérosols rendant le bleu du ciel plus ou moins blanchâtre.

Dans la suite de travail, nous avons opté pour l'étude des irradiations par ciel clair, et par conséquence, nous intéressons qu'au facteur T^* .

$$T_0 = T_3 - T_{3b} \cdot (1 - \sin(HS)) \quad (\text{I-17})$$

Les coefficients T_3 et T_{3b} sont donnés par *Brichambaut*, et sont portés dans le tableau I.1 pour différents cas :

Tableau I.1 : Valeur des coefficients du facteur de trouble pour les différents cas

Facteur	Latitude	Eté (ou saison des pluies)	Hiver (ou saison sèche)
T_3	60° N	1.9	1.4
	45° N	2.0	1.5
	30° N	2.4	1.7
	Equateur	2.6	2.2
T_{3b}		1.36	1.08

Le facteur T_1 quant à lui est pris stable et égal à un, donc $T_1=1$.

Le facteur T_2 est pris équivalent à : $T_2 = 16 \cdot \beta$, où β est donné par le tableau I.2.

Tableau I.2 : Valeurs du coefficient β en fonction de l'état visuel du ciel

Couleur du ciel au zénith	β
Bleu foncé	0.015 à 0.025
Bleu pur	0.025 à 0.050
Bleu lavé	0.050 à 0.10
Bleu laiteux	0.10 à 0.20
Bleuté (voile blanc)	Sup .à 0.20

Pour mettre en évidence la variation saisonnière, et le lieu géographique du site, une méthode est proposée par *M. Capderou* et qui est utilisée dans son ouvrage [04]. Les formules suivantes sont valables pour des altitudes inférieures à 3.5km. Dans toutes ces formules, l'altitude z est exprimée en *km*.

Ces relations sont établies pour une masse atmosphérique relative unité ($m=1$). La relation entre le facteur de trouble T_{LK} et m est très complexe, et pour les fortes valeurs de m , T_{LK} ne varie que ± 0.2 environ. On fait porter la variation d'altitude z , on considèrera donc les formules de variation $T_{LK}(z)$, comme indépendantes de m .

Les composantes du facteur de trouble sont données par les relations suivantes :

$$T_0 = (2.4 - 0.9 \sin(\varphi)) + 0.1 \cdot (2 + \sin(\varphi)) A_{he} - 0.45 \cdot z - (1.22 + 0.14A_{he})(1 - \sin(HS)) \quad (I-18)$$

$$T_1 = (0.89)^z \quad (I-19)$$

$$T_2 = (0.9 + 0.4A_{he}) \cdot (0.63)^z \quad (I-20)$$

A_{he} est la fonction sinusoïdale d'alternance hiver/été, donnée par :

$$A_{he} = \sin\left(\frac{360 \cdot (J-121)}{365}\right) \quad (I-21)$$

z : est l'altitude géographique du lieu [*km*].

J : le numéro du jour de l'année.

Pour les besoins de nos calculs, nous avons estimé le facteur de trouble moyen de chaque mois en utilisant le modèle de *Capderou* (pour la région d'Adrar). Ils sont donnés dans le tableau I.3.

I-2-3_2. Albédo [09]

Nom masculin originaire du bas latin "albédo", noté ρ , blancheur ; c'est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle. Ce terme étant généralement réservé au sol, c'est une valeur moyenne de leur réflectance pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possibles. Par définition, le corps noir possède un albédo nul.

I-2-3_3. Fraction d'insolation [04]

On mesure, pour une journée, le temps durant lequel a brillé le soleil. Cette durée, S , est la "durée d'insolation quotidienne".

On appelle S_0 la durée astronomique du jour (intervalle entre le lever et le coucher du soleil), calculable par l'équation (I-07).

La "fraction d'insolation quotidienne", notée σ , est par définition :

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (\text{I-22})$$

La "fraction d'insolation mensuelle", notée $\bar{\sigma}$, est la moyenne de σ pour un mois donné :

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} \sigma_i}{N_j} \quad (\text{I-23})$$

σ_i est σ pour un jour i et N_j est nombre de jours du mois.

On appelle "jour clair", un jour pour lequel $\sigma = 1$.

Pour les besoins de nos calculs, nous avons utilisé fraction d'insolation mensuelle moyenne donnée dans [4] de *M. Capderou* (pour la région d'Adrar), et dont les valeurs sont données dans le tableau I.3.

Tableau I.3 : Valeurs du facteur de trouble calculé et de la fraction d'ensoleillement de l'Atlas solaire Algérien (*Capderou*) pour le site d'Adrar

Mois	T_3	T_{3b}	T_0	T_1	T_2	T^*	$\bar{\sigma}$
Janvier	1.6135	1.3810	0.2326	0.9697	0.4426	1.6449	0.88
Février	1.6462	1.2168	0.4295	0.9697	0.4895	1.8887	0.87
Mars	1.7311	1.0401	0.6910	0.9697	0.6113	2.2721	0.93
Avril	1.8560	0.8676	0.9884	0.9697	0.7906	2.7487	0.93
Mai	1.9784	0.7663	1.2122	0.9697	0.9662	3.1480	0.89
Juin	2.0722	0.7674	1.3048	0.9697	1.1007	3.3752	0.92
Juillet	2.1070	0.8828	1.2242	0.9697	1.1506	3.3445	0.94
Août	2.0754	1.0952	0.9802	0.9697	1.1053	3.0552	0.91
Septembre	1.9840	1.3285	0.6555	0.9697	0.9741	2.5993	0.88
Octobre	1.8624	1.4882	0.3742	0.9697	0.7997	2.1436	0.86
Novembre	1.7366	1.5403	0.1963	0.9697	0.6192	1.7852	0.86
Décembre	1.6473	1.4937	0.1536	0.9697	0.4910	1.6143	0.86

I-2-3_4. Spectres de référence [09]

Le groupe de Physique du Solide du CNRS a établi des modèles d'irradiance spectrale pour n'importe quelles conditions. Le tableau I.4 indique les valeurs de la constante solaire en fonction du nombre d'air masse.

Tableau I.4 : Valeur de la constante solaire en fonction de l'épaisseur m d'atmosphère traversée

m	0	1	1.5	2	3	4	5
$E(W/m^2)$	1 353	931	834	755	610	530	430

La constante solaire n'en est une que dans l'esprit de ceux qui ont élaboré les normes. En fait, les valeurs de l'éclairement énergétique global dépendent beaucoup des paramètres qui caractérisent l'atmosphère (coefficient de diffusion moléculaire, humidité, turbidité...).

Ainsi pour AM1.5, la constante solaire peut varier de $760W/m^2$ dans une atmosphère polluée à $876W/m^2$ pour un ciel très clair. Comme ces données sont très importantes pour déterminer avec assez de précision par exemple la puissance crête d'une installation photovoltaïque, il a très vite fallu établir des spectres de référence. Celui qui avait été utilisé pendant la conquête spatiale était bien sûr AM0. Pour s'adapter aux applications terrestres, pour se rapprocher davantage des conditions de répartition spectrale pour toute l'année, ils ont choisie celle qui correspond à AM1.5.

C'est une répartition de l'éclairement énergétique solaire, correspondant artificiellement à un éclairement de $1000W/m^2$ avec une traversée AM1.5 d'atmosphère, sur une surface plane inclinée de 37° par rapport à l'horizontale, l'albédo (facteur de réflexion au sol) étant de 0.2, et le facteur de trouble étant de $T_{LK} = 2.7$ à 5.

I-2-3_5. Rayonnements direct et diffus [02, 05]

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Au sol, on distingue plusieurs composantes (figure I.5) :

- Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres (lorsque il y a un obstacle) et peut être concentré par des miroirs ;
- Le rayonnement diffus est constitué des photons diffusés par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). Sa structure varie avec les conditions météorologiques. Par temps couvert, on admet qu'il est isotrope, c'est-à-dire qu'on reçoit un rayonnement identique de toutes les directions de la voûte céleste. Par temps clair ou voilé, outre le ciel bleu relativement isotrope (diffusion sur l'air), on a une couronne plus brillante autour du soleil (composante appelée circumsolaire) et souvent un renforcement sur l'horizon, la bande horizon ;
- L'albédo est la partie réfléchié par le sol. Il dépend de l'environnement du site, il faudra en tenir compte pour évaluer le rayonnement sur plans inclinés.

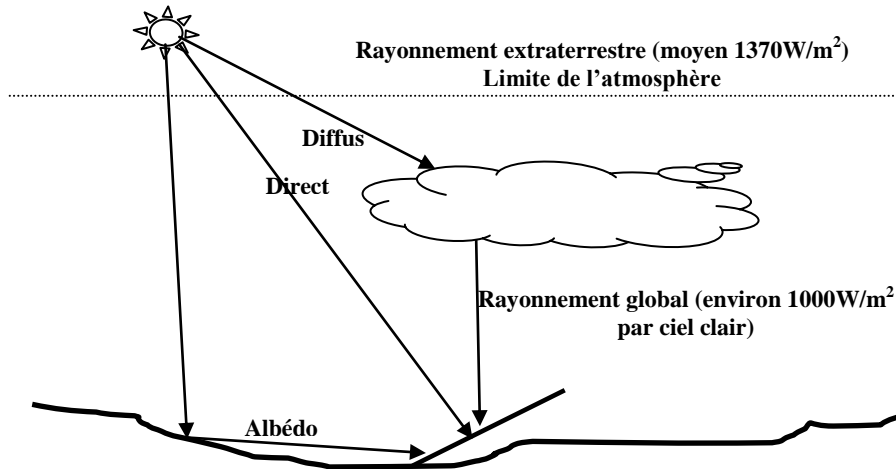


Figure I.5 : Composantes du rayonnement solaire
Global = direct + diffus + albédo

I-2-4. Mesure du rayonnement solaire [04, 05, 11]

Le rayonnement solaire disponible au niveau du sol est quantifié, pour divers lieux, principalement par des mesures météorologiques. Historiquement, ces mesures ont été enregistrées grâce à des héliographes de Campbell-Stokes : une boule de verre focalise les rayons sur un papier qui noircit. Ces mesures fournissaient un nombre d'heures d'ensoleillement, c'est-à-dire la durée pendant laquelle le rayonnement direct dépasse un certain seuil (par ailleurs mal déterminé, entre 150 et 250W/m^2). Cette information est évidemment peu précise, mais on ne dispose pas de nombreuses mesures depuis très longtemps en météorologie. C'est pourquoi un modèle basé sur des corrélations a été développé pour tenter d'en tirer une quantification énergétique. L'évaluation d'installations solaires nécessite des données d'irradiance, c'est-à-dire du flux d'énergie incidente sur une surface donnée par unité de temps et de surface, exprimée en W/m^2 (ou son intégration sur une durée déterminée, l'irradiation, en kWh/m^2 ou MJ/m^2).

Pour mesurer l'éclairement, généralement on utilise les pyranomètres (figure I.6). Ces derniers mettent à profit l'effet de serre dans une double coupole de verre, et utilisent des thermopiles pour déterminer la différence de température du capteur noir avec l'ambiant. Ils enregistrent une très large fraction du spectre, et sont des plus précis (de l'ordre de 1% lorsqu'ils sont soigneusement calibrés). Mais leur prix reste élevé.

Le moyen le plus simple pour mesurer la composante diffuse est d'utiliser un solarimètre (figure I.6), devant lequel on cache le rayonnement direct, soit par un arceau placé le long de la trajectoire diurne du soleil, soit par un cache mobile faisant un tour en 24 heures. Très peu de stations météorologiques en sont équipées, car ils nécessitent une surveillance et un réglage périodique de l'arceau ou du cache.



Figure I.6 : Pyranomètre (à gauche), Solarimètre (à droite)

I-2-5. Rayonnement solaire sur un plan incliné [02, 05]

En météorologie, les mesures les plus couramment disponibles portent sur le rayonnement global dans le plan horizontal ; elles doivent être transposées dans le plan incliné des capteurs, en tenant compte de divers effets perturbateurs tels que l'horizon, les réflexions du sol et les ombrages d'objets proches éventuels.

On appelle direct normal $Direct_n$ le rayonnement direct mesuré perpendiculairement aux rayons du soleil. Mesuré selon un plan non perpendiculaire, le même rayonnement irradie une plus grande surface, et est donc moins intense (effet «cosinus») : $D_{non-n} = Direct_n \cos(\alpha)$, où α est l'angle d'incidence.

I-2-5_1. Définitions géométriques

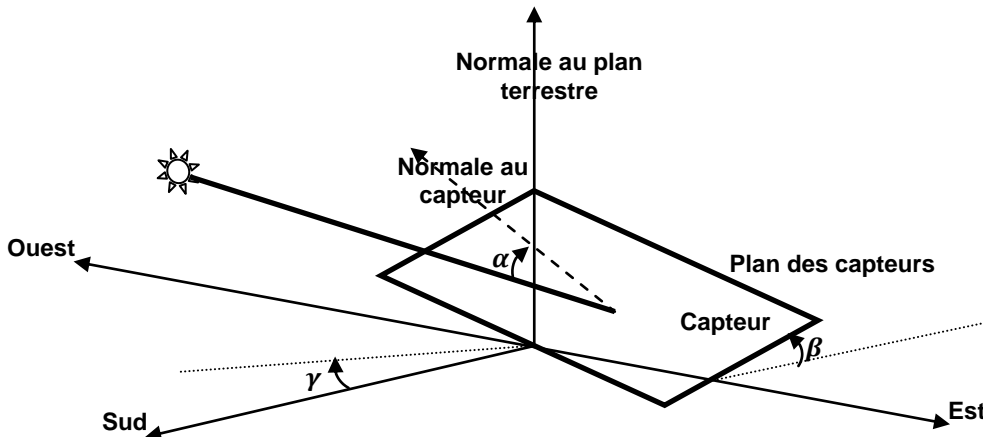


Figure I.7 : Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , Azimut γ et angle d'incidence α

Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison β (par rapport à l'horizontale), et son orientation ou azimut γ par rapport au sud (négatif vers l'est, sens anti-trigonométrique). L'angle d'incidence α est l'angle formé entre la normale du plan et les rayons du soleil. On parle souvent d'incidence normale lorsque $\alpha = 0$, c'est-à-dire les rayons sont perpendiculaires au capteur. L'angle d'incidence s'écrit, en fonction de la position du soleil (HS, AZ) :

$$\cos(\alpha) = \cos(\beta) \sin(HS) + \sin(\beta) \cos(HS) \cos(AZ - \gamma) \quad (I-24)$$

I-2-5_2. Modèle de transposition [02, 05, 07, 12 et 13]

La transposition du rayonnement du plan horizontal dans un plan quelconque dépend de la géométrie solaire. C'est donc un processus à caractère instantané. Dans la pratique, pour des valeurs horaires, on choisit la position du soleil au milieu de l'intervalle. Aux débuts et fins de journées, l'intervalle est délimité par le lever/coucher du soleil. La transposition s'applique différemment pour chaque composante du rayonnement.

Pour la composante directe, il s'agit d'une projection dans un plan différent, donc d'une simple opération géométrique (effet «cosinus»).

$$Direct_i = Direct_n \cos(\alpha) = \frac{Direct_n \cos(\alpha)}{\sin(HS)} \quad (I-25)$$

$$Direct_n = Direct_i \sin(HS) \quad (I-26)$$

$$\text{Donc si le plan est horizontal : } \cos(\alpha) = \sin(HS) \quad (I-27)$$

$Direct_n$: Rayonnement direct mesuré perpendiculairement aux rayons du soleil ;
 $Direct_h$: Rayonnement direct enregistré ou bien calculé sur une surface horizontale ;
 $Direct_i$: Rayonnement direct calculé sur une surface inclinée.

Le diffus peut être lui-même subdivisé en diverses contributions. Pour le diffus isotrope (le modèle de *Lieu et Jordan*), le rayonnement issu de la portion de ciel «vue» par le capteur vaut :

$$Diffus_{isoi} = Diffus_{isoh} \frac{1+\cos(\beta)}{2} \quad (I-28)$$

$$Diffus_{isoh} = Global_h(0.9 - 0.8\sigma) \quad (I-29)$$

Où σ : fraction d'insolation, elle mesure le rapport moyen entre le temps de présence du soleil dans le ciel avec le temps théorique maximum de présence égal à la durée du jour.

Le rayonnement sur la portion de sphère située au-dessous de l'horizon, issu des réflexions sur le sol (albédo), sera la fraction complémentaire :

$$Albédo_i = \rho \cdot Global_h \frac{1-\cos(\beta)}{2} \quad (I-30)$$

Où le coefficient d'albédo ρ est une mesure de la réflectivité du sol, dépendant de sa structure.

Le rayonnement incident sur le plan des capteurs est alors la somme :

$$Global_i = Direct_i + Diffus_i + Albédo_i \quad (I-31)$$

Pour obtenir l'irradiation journalière, on fait la sommation des valeurs d'éclairement de chaque instant pour le jour par la méthode d'intégration numérique trapézoïdale.

$$H_{journalière} = \int_{t_l}^{t_c} Global_i dt = \sum_{t_l}^{t_c} Global_i \quad (I-32)$$

Là où le t_l et t_c indiquent les temps solaires de lever de soleil et de coucher du soleil respectivement, qui sont choisis dans le travail actuel pendant un jour standard clair comme : $t_l = 6H:00'$ et $t_c = 20H:00'$.

Le modèle cité au-dessus besoin à la connaissance de la fraction d'insolation σ de chaque jour, tandis que d'autre modèle, que la partie diffuse du rayonnement solaire dépend essentiellement de l'irradiation globale, ainsi ils ont exprimé cette quantité seulement en fonction de l'indice de clarté K_t , comme le rapport du rayonnement au sol normalisé à l'extraterrestre. Cette grandeur est une mesure de l'atténuation dans l'atmosphère.

Par temps clair, on obtient au sol un rayonnement normal de l'ordre de $1000W/m^2$. La différence avec l'extraterrestre est qu'il est, en partie, réfléchi vers l'espace par les hautes couches de l'atmosphère, et est, en partie, absorbé et transformé en chaleur dans l'atmosphère. L'équilibre thermique de l'atmosphère (et de la terre) est assuré par la réémission vers l'espace de cette chaleur sous forme de rayonnement infrarouge.

$$K_t = \frac{H}{H_0} \quad (I-33)$$

Avec : H irradiations horaire ;

H_0 étant l'irradiation horaire sur un plan horizontal placé au-dessus de l'atmosphère ($Wmin/m^2$), il est évalué au niveau de la haute atmosphère en fonction de la hauteur solaire HS et correspond à la somme suivante [09] :

$$H_0 = \sum_{i=h:00}^{i=h:59} G_0 \sin(HS_i) \quad (I-34)$$

Plusieurs modèles de calcul de l'éclairement diffus ont été développés. Selon [14], nous considérons que le modèle de *Page* et celui de *Liu & Jordan* ont donné une satisfaction suffisante pour qu'ils puissent être appliqués sur n'importe quel site algérien saharien pour reconstituer la moyenne mensuelle par jour de l'irradiation diffuse.

On évalue ou bien estime l'irradiation journalière diffuse en fonction de l'indice de clarté K_t par la corrélation de *Liu & Jordan* [14] :

$$\begin{cases} K_d = 0.2 & \text{si } K_t \geq 0.8 \\ K_d = 1.39 - 4.027K_t + 5.531K_t^2 - 3.108K_t^3 & \text{si } 0.3 < K_t < 0.8 \\ K_d = 0.99 & \text{si } K_t \leq 0.3 \end{cases} \quad (\text{I-35})$$

$$\text{Donc, } Diffus_h = K_d \cdot Global_h \quad \text{et} \quad Direct_h = (1 - K_d) \cdot Global_h \quad (\text{I-36})$$

Donc, on peut calculer l'éclairement sur un plan incliné en utilisant les équations (I-25), (I-28) et (I-30) à (I-31).

Le rayonnement atteint son intensité maximale lorsque le plan est perpendiculaire aux rayons du soleil, donc l'intensité du rayonnement solaire sur un plan quelconque augmente quand on l'incline vers le soleil. Comme le soleil est plus haut et que les journées sont plus longues en été, la quantité totale d'énergie reçue sur un plan horizontal y est plus grande qu'en hiver. Les études expérimentales montrent l'importance de l'effet de l'angle d'inclinaison sur le rayonnement direct frappant un plan, de mois en mois. On maximise, par conséquent, la quantité d'énergie solaire directe captée quand on change constamment l'inclinaison du plan pour le maintenir à angle droit avec les rayons du soleil. Si le plan est fixe, le rayonnement annuel capté est au maximum lorsque le plan est incliné à un angle égal à la latitude $\beta = \varphi$.

I-3. Validation les modèles par des résultats expérimentaux

Afin d'examiner la validité les modèles cités dans le § I-2-5_2, on a comparé les courbes simulées avec les courbes expérimentales. Ces données expérimentales sont fournies par les équipes «gisement solaire» et «pompage photovoltaïque» de l'unité de recherche en énergies renouvelables en milieu saharien (URER/MS), en utilisant les données de la station météorologie d'Adrar (enerMENA High Precision Meteorological Station in Adrar, Algeria) (figures I.8) et les données concernant un système de pompage photovoltaïque (figures I.9) respectivement, dont le pas d'enregistrement a été fixé à une minute.

Concernant la station météorologie d'Adrar (enerMENA High Precision Meteorological Station in Adrar, Algeria), on peut mesurer l'éclairement global incident sur un plan horizontal $Global_h$, l'éclairement direct normal $Direct_n$ et l'éclairement diffus $Diffus_h$ incident sur un plan horizontal, donc on peut calculer l'éclairement diffus $Diffus_h$ incident sur un plan horizontal.

$$Diffus_h = Global_h - Direct_h \quad (\text{I-37})$$

Concernant les résultats obtenus par l'équipe «pompage photovoltaïque», on peut mesurer seulement l'éclairement global incident sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$ (presque l'angle de latitude) et orienté au plein sud.



Figure I.8 : Photos de la station météorologie (enerMENA High Precision Meteorological Station) installée à URER/MS



Figure I.9 : Photos du système de pompage Photovoltaïque installé à URER/MS

Les figures I.10 et I.11 représentent chaque minute et pour les jours 07/01/2015 (journée nuageuse) et 30/01/2015 (journée à ciel clair), la variation des éclaircements globaux, directs normaux et diffus incidents sur un plan horizontal et la variation des éclaircements globaux incidents sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$ (presque l'angle de latitude) et orienté au plein sud. Nous remarquons que pour le mois de Janvier, l'éclairciment incident sur le plan incliné est nettement supérieur à celle incident sur un plan horizontal. Le tableau I.5 récapitule, pour les mêmes jours, les valeurs d'irradiation journalière calculées.

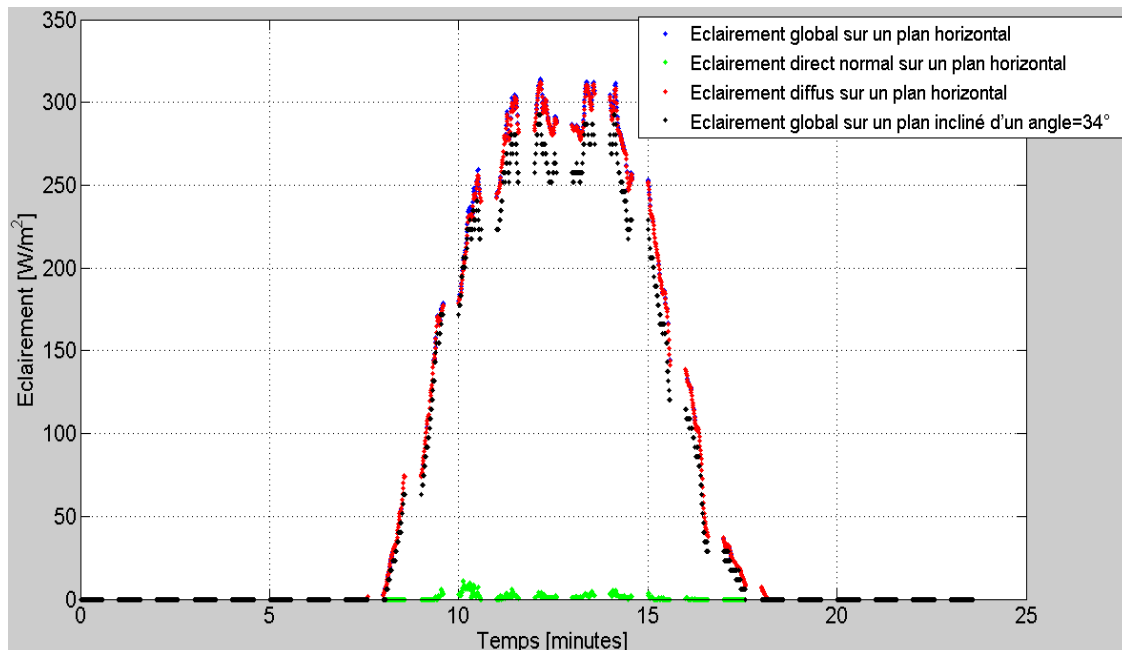


Figure I.10 : Variation des éclairagements globaux, directs normaux et diffus chaque minute sur un plan horizontal et celles sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$ respectivement pour le jour 07/01/2015

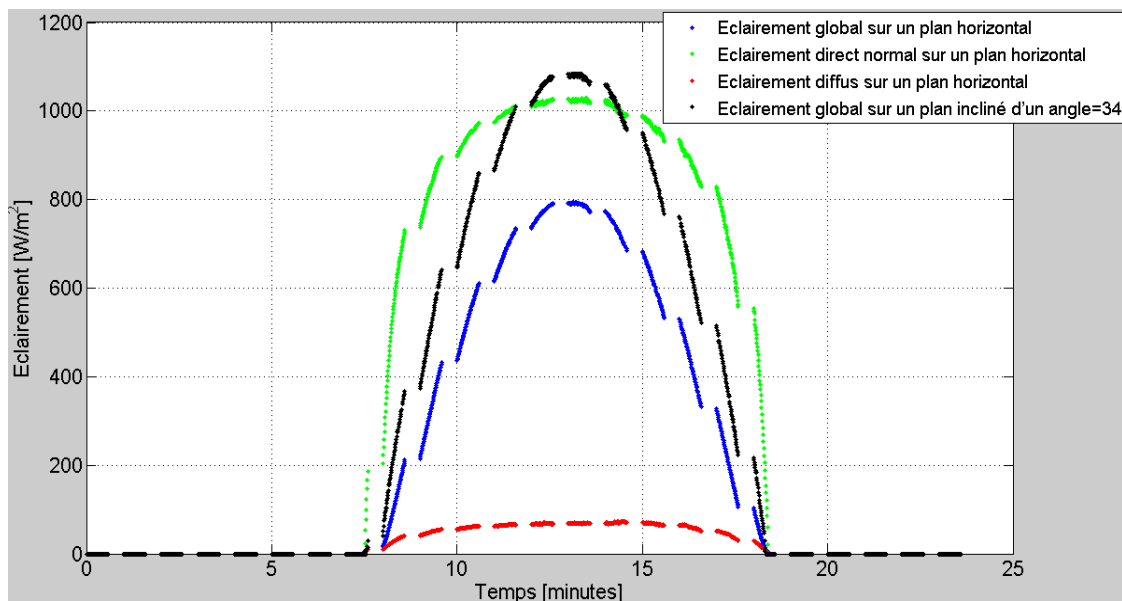
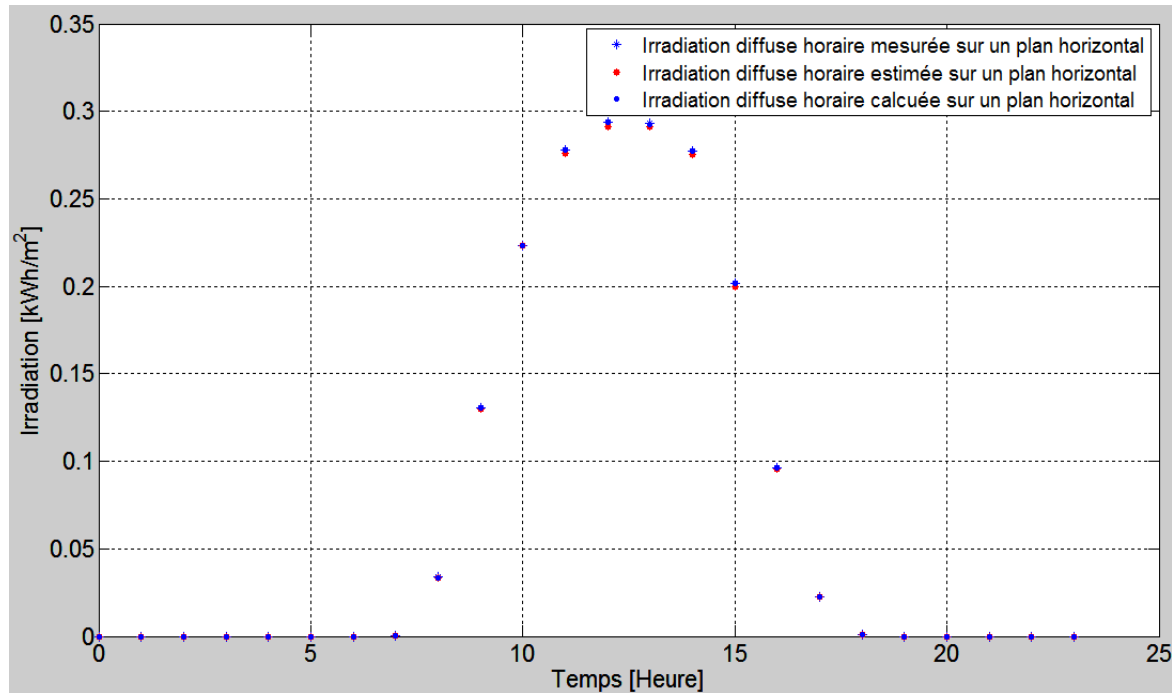


Figure I.11 : Variation des éclairagements globaux, directs normaux et diffus chaque minute sur un plan horizontal et celles sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$ respectivement pour le jour 30/01/2015

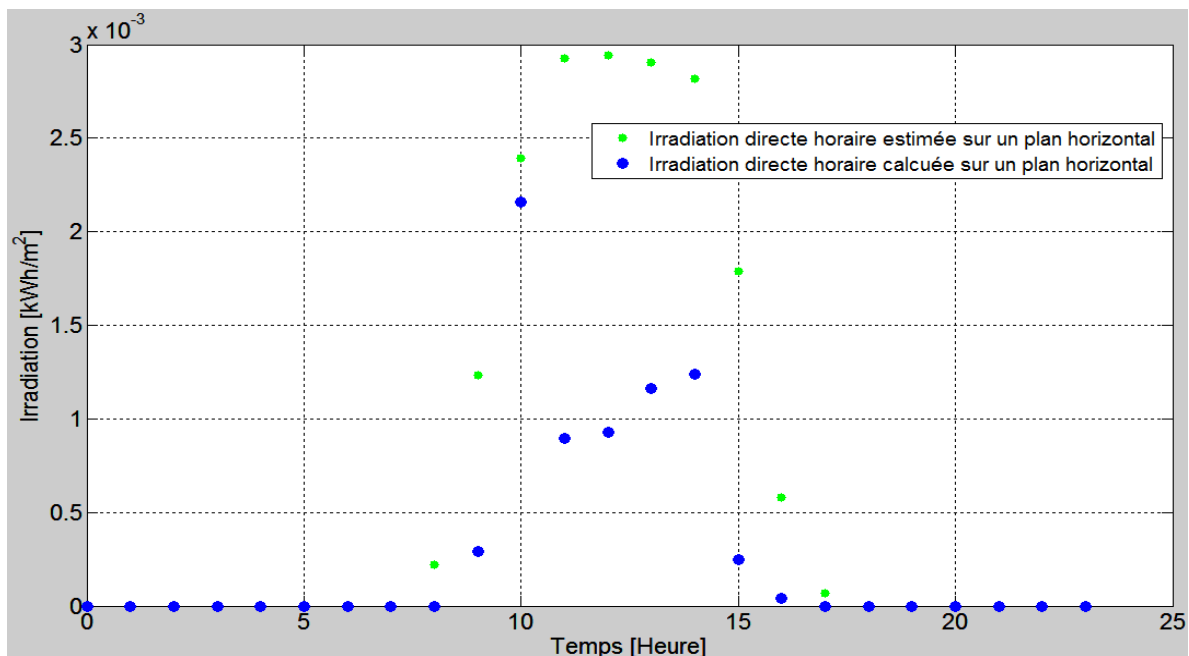
Tableau I.5 : Valeurs d'irradiation journalier (Somme journalière)

Position du plan	$H_h [kWh/m^2 - jour]$	H_{34}
Jour 07/01/2015	1.8573	1.6791
30/01/2015	5.2219	7.5211

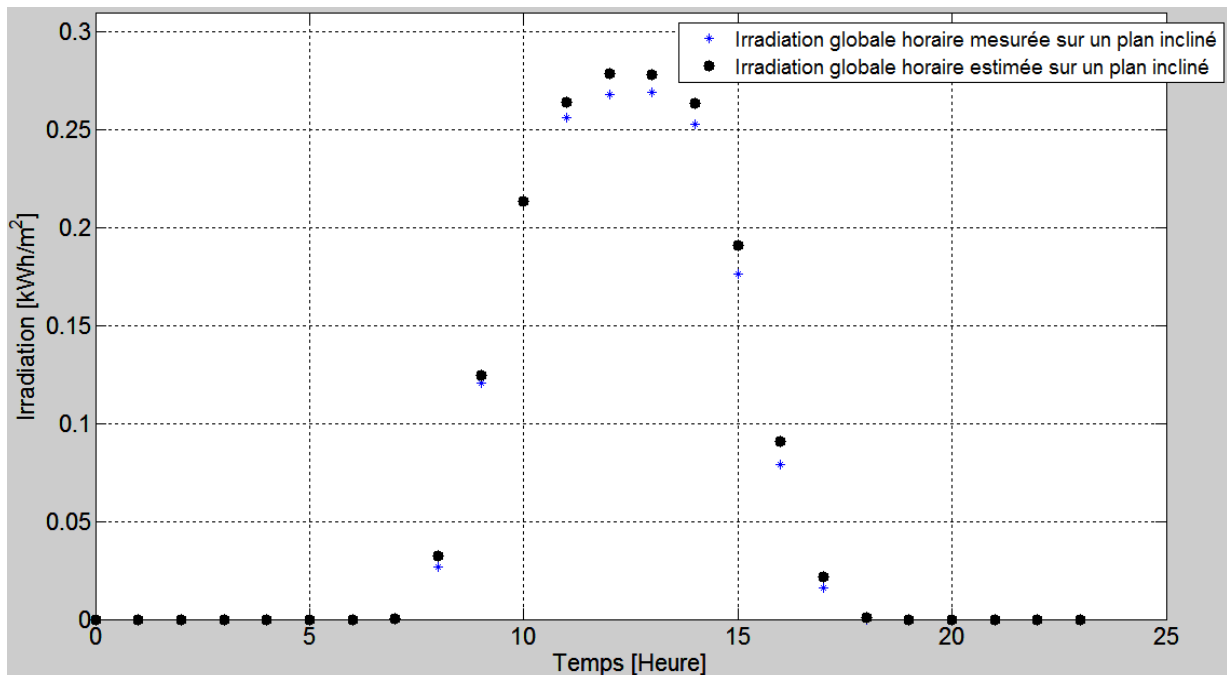
Nous avons comparé les irradiations horaires estimées numériquement par la corrélation *Liu & Jordan* et calculées à partir des éclairements donnés par les formules (I-26), (I-36) et (I-37) avec celles obtenues pratiquement, durant des jours nuageux et des jours ensoleillés choisis le 07/01/15 et 30/01/15 respectivement.



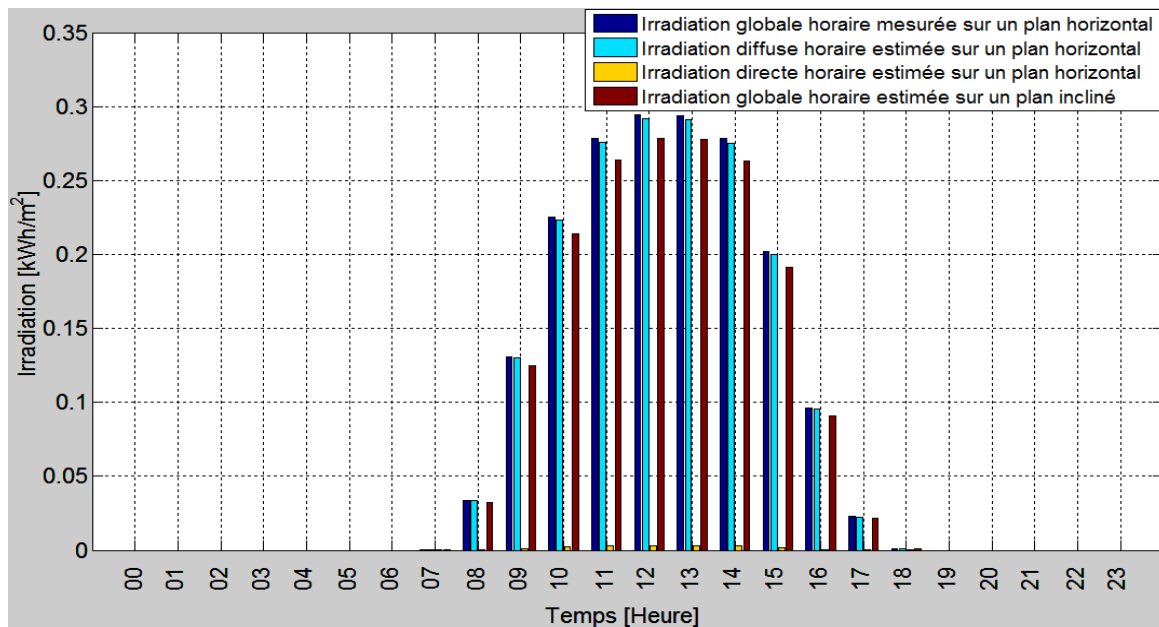
(a) Irradiation diffuse horaire sur un plan horizontal



(b) Irradiation directe horaire sur un plan horizontal

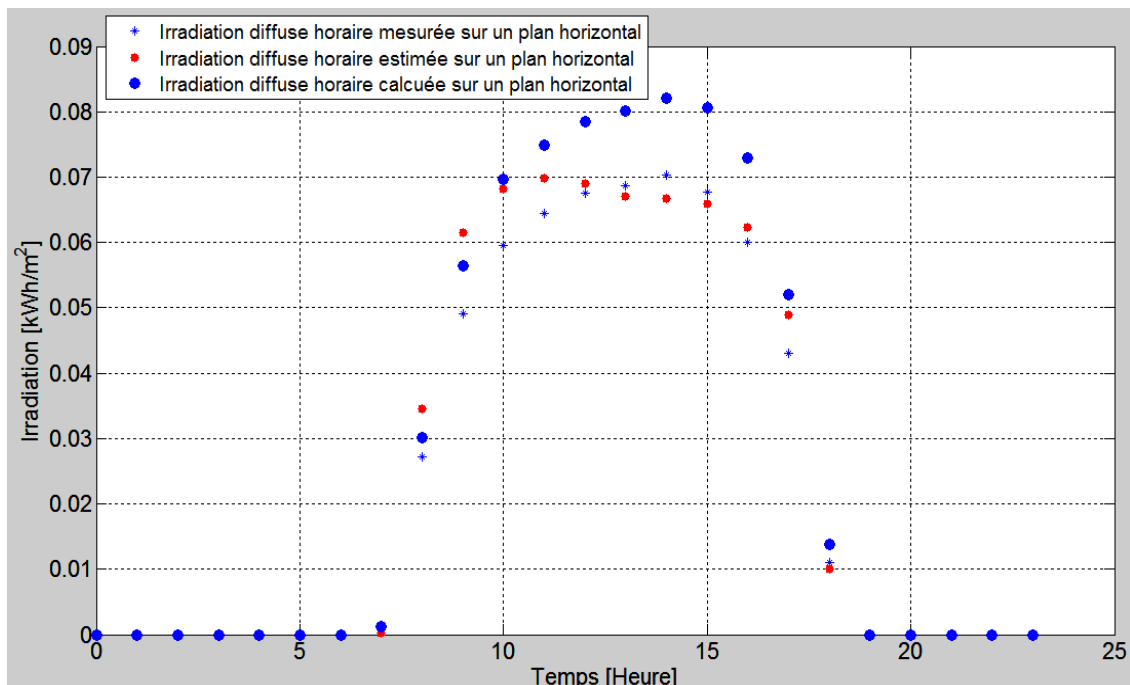


(c) Irradiation globale horaire sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$

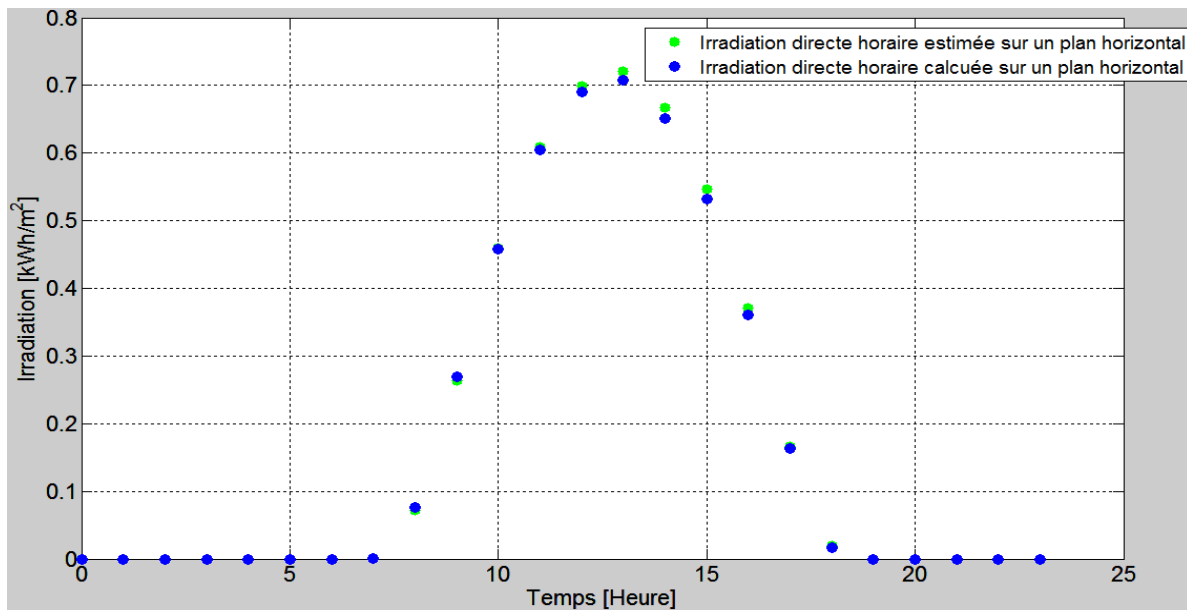


(d) Résultats sous forme un histogramme

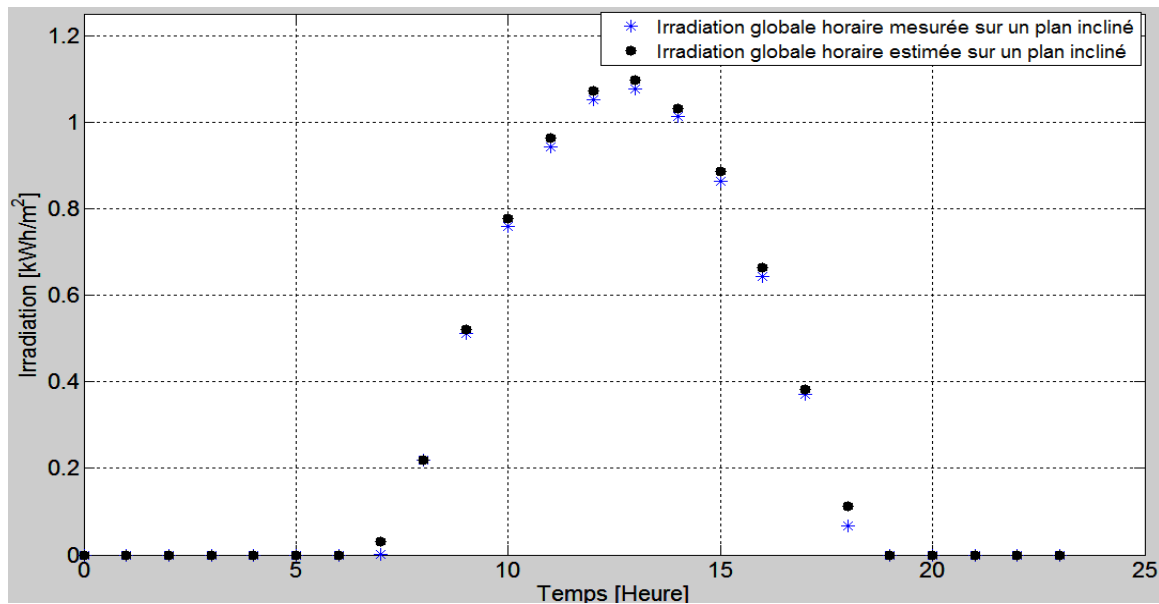
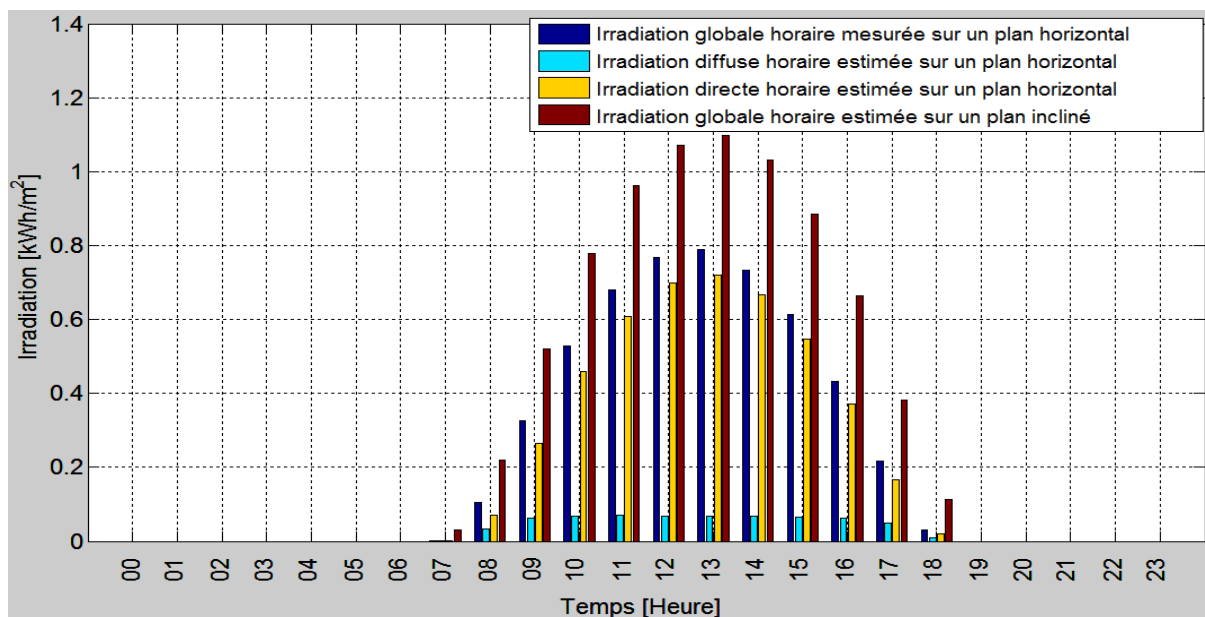
Figure I.12 : Irradiations horaires mesurées et estimées pour le jour 07/01/2015



(a) Irradiation diffuse horaire sur un plan horizontal



(b) Irradiation directe horaire sur un plan horizontal

(c) Irradiation globale horaire sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$ 

(d) Résultats sous forme un histogramme

Figure I.13 : Irradiations horaire mesurées et estimées pour le jour 30/01/2015

Les figures I.12 et I.13 montrent les courbes d'estimation et les courbes expérimentales. On remarque un très bon accord entre les caractéristiques expérimentales et celles calculées et estimées, bien qu'il soit exact aux pluparts points et suffisamment précis pour d'autres points. Donc, nous constatons que le modèle *Liu & Jordan* pour reconstruire la composante diffus de l'éclairement conduit à de meilleurs résultats. Les écarts constatés (Quelques points ne sont pas exactement assortis) sont dus aux erreurs du modèle parce que le modèle n'est pas parfait. Ce qui est dû à notre sens, par le fait que ce modèle a été établi, moyennant des données mesurées sur des sites américains et les conditions climatiques différentes d'heure à heure. Ainsi, on remarque que pour les jours neigeés, la composante diffuse est plus importante que la composante directe.

I-4. Conclusion

Dans ce chapitre, une modélisation du rayonnement solaire par le modèle empirique (*Liu & Jordan*), et le modèle en utilisant équations géométrique (relations entre les trois composantes de l'éclairement : globale, direct normal et diffus) pour calculer l'éclairement directe, diffus et globale est présentée. Ainsi que des équations propres pour calculer les paramètres atmosphériques (masse, épaisseur optique de l'atmosphère et facteur de trouble).

Afin d'obtenir un modèle mathématique exact et précis pour reconstruire la composante diffus de l'éclairement sur un plan horizontal et déterminer l'éclairement incident sur un plan incliné d'une part, et de faire un dimensionnement optimal d'un système solaire d'autre part, on a présenté les résultats obtenus, basées sur le modèle *Liu & Jordan*, puis l'utilisation des simples équations géométrique, sans avoir besoin d'installer plusieurs appareils de mesure. Cette méthode a permis de déterminer l'irradiation sur un plan incliné.

Nous avons également montré un très bon accord entre l'expérience et l'estimation d'une part, et d'autre part la validation des modèles qui régissent l'irradiation réceptionnée sur un plan incliné.

L'éclairement reçu à la terre ne dépend pas uniquement du lieu, mais aussi de différents paramètres comme l'état de la journée et l'angle d'inclinaison de capteur solaire. L'angle d'inclinaison optimal qui nous permis de capter le maximum de l'éclairement est l'angle désiré pour un meilleur fonctionnement des systèmes solaires. Les valeurs correspondantes pour les angles d'inclinaison β et azimut γ pour un plan incliné s'appellent respectivement β_{opt} et γ_{opt} . Donc, l'objectif est d'ajuster le système solaire de telle manière que les angles d'inclinaison β et azimut γ soit toujours approximativement égale à respectivement β_{opt} et γ_{opt} .

Le rayonnement solaire arrivant au sol a au moins deux composantes : une composante directe D et une composante diffuse Dif , le tout formant le rayonnement global G . A partir les littératures, les résultats démontrent que dans les régions de hautes latitudes, en hiver où le ciel est souvent couvert, il est inutile d'orienter les capteurs solaires dans la direction du soleil, car la composante diffuse est si importante (80 %) qu'il est préférable de monter les capteurs solaires à l'horizontale. Donc l'inclinaison et l'orientation optimales des capteurs solaires pour les zones caractérisées par un ciel clair, sont déterminées en utilisant un modèle de l'éclairement à ciel clair. C'est l'objectif de prochain chapitre, il fera l'objet de cette étude et analyse de l'irradiation obtenue pour une zone donnée.

CHAPITRE II

*Analyse et contribution à
l'amélioration des Gains
énergétiques solaires : Cas du
système Poursuite discontinu de
soleil*

Analyse et contribution à l'amélioration des gains énergétiques solaires : Cas du système poursuite discontinue de soleil

II-1. Introduction

A partir des littératures, les résultats a démontré que dans les régions où le ciel est souvent couvert, il est inutile d'orienter les capteurs solaires dans la direction du soleil pour améliorer le gain énergétique, car la composante diffuse est si importante (80%) qu'il est préférable de monter les capteurs solaires à l'horizontale [09]. Donc l'inclinaison et l'orientation optimales des capteurs solaires pour les régions caractérisent par un ciel clair, comme les régions de grand sud de notre paye, sont déterminées en utilisant un modèle de l'éclairement à ciel clair.

Pour maintenir les rayons solaires perpendiculaires au plan solaire considéré, un mécanisme de poursuite continue (à un seul axe ou à deux axes) et automatique du soleil est nécessaire. Cette technique, est compliquée et implique une consommation d'énergie importante. Plusieurs travaux publiés par d'autres chercheurs montrent que la poursuite solaire reste un moyen très efficace pour améliorer l'output des capteurs solaires [14]. Mais cette technique nécessite des systèmes compliqués et un entretien régulier et minutieux quand ils sont installés en milieu saharien caractérisé par des vents de sables fréquents et des écarts de températures importants qui peuvent facilement endommager les circuits de commande électroniques ainsi que les chaînes cinématique du système. Un compromis est alors obtenu en optant pour une poursuite discontinue : On va étudier deux types, un système de poursuite mensuelle et une poursuite discontinue à deux positions autour d'un axe vertical, où le moteur qui faire entraîner le capteur solaire, fonctionne d'une façon impulsionnelle (deux fois par jour).

Pour l'estimation de l'éclairement solaire à ciel clair, on a recours aux modèles théoriques. Pour qu'ils soient applicables aux sites considérés, ces derniers doivent être confrontés aux valeurs réellement mesurées sur le site considéré sur une période qui couvrira les différentes saisons de l'année. Cependant, une étude comparative a été exécutée sur les éclairagements solaires sur un plan horizontal et incliné. Pour ce faire, quelques jours ont été sélectionnées pour comparer les valeurs calculées par le modèle européen (European Solar Radiation Atlas, ESRA 2000) et celles données par la station radiométrique et un système de pompage installées à l'unité de recherche d'Adrar URER/MS. Nous avons profité l'utilisation ce modèle pour récupérer les irradiations horaire dans le cas un ombrage par un obstacle.

II-2. Rayonnement par ciel clair, modèle européen 2000 [08, 09]

II-2-1. Rayonnement direct horizontal

L'éclairement direct dans un plan perpendiculaire au soleil est donné [en W/m^2] par une formule proposée par l'ESRA (European Solar Radiation Atlas, 2000) :

$$E_{0c} = G_0 \cdot \exp \{-0.866T_{LK} \cdot m \cdot \delta_R(m)\} \quad (II-01)$$

où G_0 est la constante solaire hors atmosphère donnée par l'équation (I-12), m l'épaisseur d'atmosphère, le terme $-0.866T_{LK}$ le trouble de Link pour une épaisseur d'atmosphère égale à 2 [sans dimension] corrigé par *Kasten*.

Le paramètre m de l'équation est la masse d'air optique relative [sans dimension] calculé selon la formule :

$$m = \frac{(p/p_0)}{\sin(HS_0^{ref}) + 0.50572(HS_0^{ref} + 6.07995)^{-1.6364}} \quad (II-02)$$

Par l'épaisseur d'atmosphère traversée m , la formule tient compte de la pression atmosphérique en $mbar$ et de l'altitude z en [m].

$$p/p_0 = \exp\left(\frac{-z}{8434.5}\right) \quad (II-03)$$

Où HS_0^{ref} est l'altitude solaire (un angle entre le soleil et l'horizon) en [Radian] corrigée par la composante de réfraction atmosphérique Δh_0^{ref} :

$$HS_0^{ref} = HS + \Delta HS_0^{ref} \quad (II-04)$$

HS : Hauteur du soleil.

$$\Delta HS_0^{ref} = \frac{0.061359 \cdot (0.1594 + 1.123 \cdot HS + 0.065656 \cdot HS^2)}{(1 + 28.9344 \cdot HS + 277.3971 \cdot HS^2)} \quad (II-05)$$

Le paramètre $\delta_R(m)$ est l'épaisseur optique de *Rayleigh* à la masse d'air m , calculé selon la formule améliorée par *Kasten* comme suit :

Pour $m \leq 20$

$$\delta_R(m) = \frac{1}{6.6296 + 1.7513 \cdot m - 0.1202 \cdot m^2 + 0.0065 \cdot m^3 - 0.00013 \cdot m^4} \quad (II-06)$$

Pour $m > 20$

$$\delta_R(m) = \frac{1}{10.4 + 0.718 \cdot m} \quad (II-07)$$

La composante du rayonnement direct sur une surface horizontale est alors, dans tous les cas :

$$E_{hc} = E_{0c} \sin(HS) \quad (II-08)$$

II-2-2. Rayonnement direct sur un plan incliné

L'éclairement direct sur une surface inclinée E_{ic} est donné par :

$$E_{ic} = E_{0c} \sin(\alpha_{exp}) \quad \text{ou} \quad E_{ic} = E_{hc} \frac{\sin(\alpha_{exp})}{\sin(HS)} \quad (II-09)$$

Où α_{exp} est l'angle d'incidence solaire mesuré entre le soleil et une surface inclinée définie dans l'équation (II-10).

$$\sin(\alpha_{exp}) = C_{31}' \cos(\omega - \lambda') + C_{33}' \quad (II-10)$$

Où :

$$\begin{cases} C_{31}' = \cos(\varphi') \cos(\delta) \\ C_{33}' = \sin(\varphi') \sin(\delta) \\ \sin(\varphi') = -\cos(\varphi) \sin(\beta) \cos(\gamma) + \sin(\varphi) \cos(\beta) \\ \text{tg}(\lambda') = -\frac{\sin(\beta) \cdot \sin(\gamma)}{\sin(\varphi) \sin(\beta) \cos(\gamma) + \cos(\varphi) \cos(\beta)} \end{cases} \quad (\text{II-11})$$

ω est l'angle horaire à un instant.

β et γ sont les angles d'inclinaison et d'azimut respectivement.

II-2-3. Rayonnement diffus horizontal

Pour calculer l'éclairement diffus dans un plan horizontal, la formule suivante est utilisée :

$$D_{hc} = G_0 \cdot T_n(T_{LK}) \cdot F_d(HS) \quad (\text{II-12})$$

où T_n est la fonction de transmission diffuse au zénith :

$$T_n(T_{LK}) = -0.015843 + 0.030543 \cdot T_{LK} + 0.0003797 \cdot T_{LK}^2 \quad (\text{II-13})$$

et F_d la fonction de diffusion angulaire :

$$F_d(HS) = A_1 + A_2 \sin(HS) + A_3 \sin^2(HS) \quad (\text{II-14})$$

Où les valeurs des coefficients A_1 , A_2 et A_3 ne dépendent que de la relation de facteur de trouble de Linke T_{LK} défini dans les expressions suivantes :

$$\begin{cases} A_1 = \frac{0.0022}{T_n(T_{LK})} & \text{si } A'_1 \cdot T_n(T_{LK}) < 0.0022 \\ A_1 = A'_1 & \text{si } A'_1 \cdot T_n(T_{LK}) \geq 0.0022 \end{cases} \quad (\text{II-15})$$

$$\text{Où } A'_1 = 0.26463 - 0.061581 \cdot T_{LK} + 0.0031408 \cdot T_{LK}^2 \quad (\text{II-16})$$

$$A_2 = 2.04020 + 0.018945 \cdot T_{LK} - 0.011161 \cdot T_{LK}^2 \quad (\text{II-17})$$

$$A_3 = -1.3025 + 0.039231 \cdot T_{LK} + 0.0085079 \cdot T_{LK}^2 \quad (\text{II-18})$$

II-2-4. Rayonnement diffus sur un plan incliné

Le modèle d'estimation de l'éclairement diffuse à ciel clair sur une surface inclinée E_{ic} est donné par l'équation suivante :

Si $HS \geq 0.1$ c-à-d (5.7°) (HS en Radian)

$$D_{ic} = D_{hc} \left\{ F(\beta)(1 - K_{tb}) + K_{tb} \frac{\sin(\alpha_{exp})}{\sin(HS)} \right\} \quad (\text{II-19})$$

Si $HS < 0.1$ c-à-d (5.7°)

$$D_{ic} = D_{hc} \left\{ F(\beta)(1 - K_{tb}) + \frac{K_{tb} \sin(\beta) \cos(A_{LN})}{0.1 - 0.008 \cdot HS} \right\} \quad (\text{II-20})$$

Où :

$$\begin{cases} A_{LN} = A_{LN}^* & \text{si } -\pi \leq A_{LN}^* \leq \pi \\ A_{LN} = A_{LN}^* - 2\pi & \text{si } A_{LN}^* > \pi \\ A_{LN} = A_{LN}^* + 2\pi & \text{si } A_{LN}^* < -\pi \end{cases} \quad (\text{II-21})$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} A_{LN}^* = (AZ - \gamma) \\ \cos(AZ) = (C_{11} \cos(\omega) + C_{13}) / ((C_{22} \sin(\omega))^2 + (C_{11} \cos(\omega) + C_{13})^2)^{1/2} \end{cases} \quad (\text{II-22})$$

$$\text{dont : } \begin{cases} C_{11} = \sin \varphi \cos \delta \\ C_{13} = -\cos \varphi \sin \delta \\ C_{22} = \cos \delta \\ C_{31} = \cos \varphi \cos \delta \\ C_{33} = \sin \varphi \sin \delta \end{cases} \quad (\text{II-23})$$

Où $F(\beta)$ est une fonction qui tient compte de l'éclairement diffus du ciel qui peut être calculé par l'équation suivante (β en *Radians*) :

$$F(\beta) = r_i(\beta) + (\sin(\beta) - \beta \cdot \cos(\beta) - \pi \sin^2(\beta/2)) \cdot N \quad (\text{II-24})$$

$r_i(\beta)$ est une fraction du dôme du ciel vue par une surface inclinée [*sans dimension*] :

$$r_i(\beta) = \frac{1+\cos(\beta)}{2} \quad (\text{II-25})$$

$$N = 0.00263 - 0.712K_{tb} - 0.6883K_{tb}^2 \quad (\text{II-26})$$

Le K_{tb} est une mesure de la quantité d'irradiance du faisceau disponible (proportion entre l'éclairement du faisceau et l'éclairement solaire extraterrestre sur une surface horizontale) : ce coefficient de clarté est donné par :

$$K_{tb} = \frac{E_{hc}}{G_{oh}} \quad (\text{II-27})$$

Où G_{oh} est calculé comme suit :

$$G_{oh} = G_o \sin(HS) \quad (\text{II-28})$$

Le rayonnement sur la portion de sphère située au-dessous de l'horizon, issu des réflexions sur le sol (albédo), sera la fraction complémentaire :

$$\text{Albédo}_i = \rho \cdot (E_{hc} + D_{hc}) \cdot \frac{1-\cos(\beta)}{2} \quad (\text{II-29})$$

Où le coefficient d'albédo ρ est une mesure de la réflectivité du sol, dépendant de sa structure.

Le rayonnement incident sur le plan des capteurs est alors la somme :

$$\text{Global}_i = E_{ic} + D_{ic} + \text{Albédo}_i \quad (\text{II-30})$$

II-2-4. Validation du modèle par des résultats expérimentaux

Afin d'examiner la validité le modèle européen à ciel clair, on a comparé les courbes simulées avec les courbes expérimentales. Ces données expérimentales sont fournies par les équipes «gisement solaire» et «pompage photovoltaïque» de l'unité de recherche en énergies renouvelables en milieu saharien (URER/MS).

Nous avons comparé les caractéristiques obtenues par simulation numérique avec celles obtenues pratiquement pour la région d'Adrar (figures II.1 à II.4) pour des jours ensoleillés (jours apparaîtraient clairs) choisie le 30/01/15, 27/01/16, 01/10/16 et 24/02/15, incident sur un plan horizontal, sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$ (presque l'angle de latitude) et sur un plan incliné d'un angle $\beta = 34^\circ$ et en poursuite discontinue à deux positions (c'est-à-dire le support de capteur permettant la rotation autour d'un axe vertical suivant un angle γ négatif pour l'un et positif pour l'autre : voir le § II-3-1_3.2).

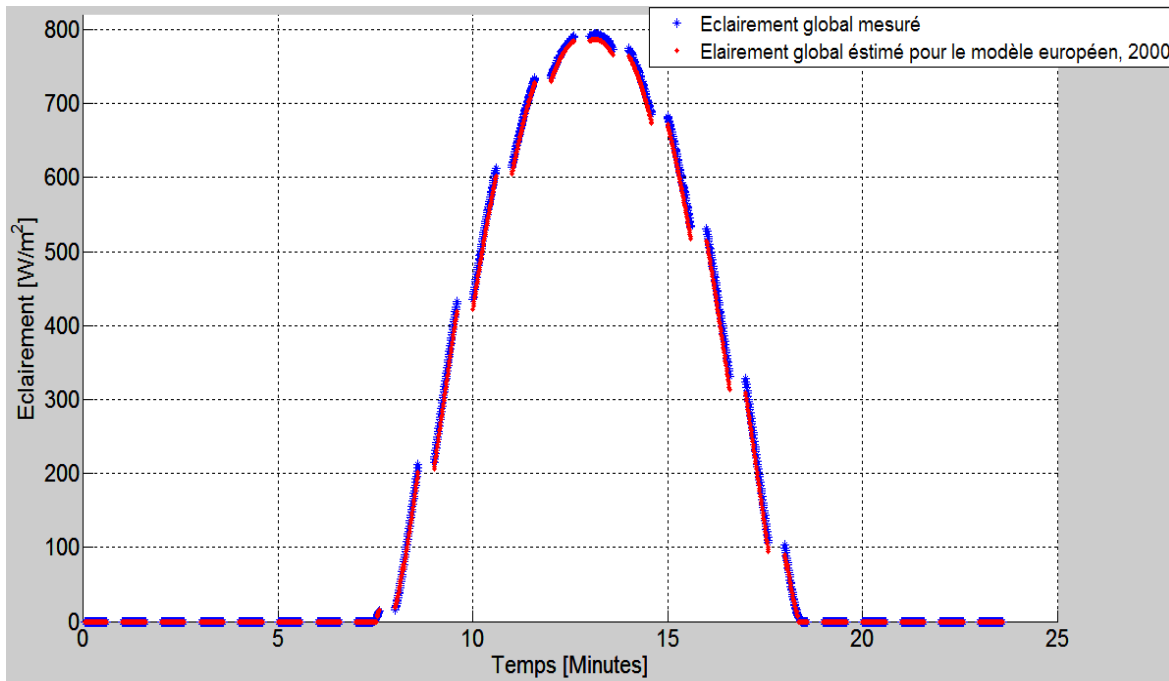


Figure II.1 : Eclairages globaux mesurés et estimés sur un plan horizontal, pour le jour 30/01/2015

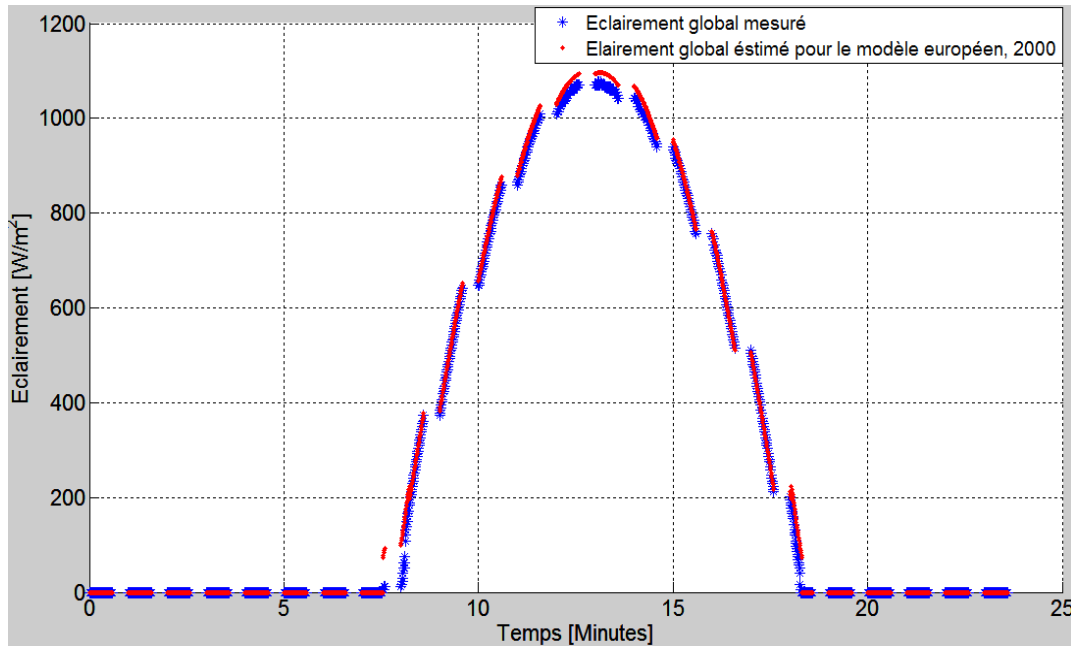


Figure II.2 : Eclairages globaux mesurés et estimés sur un plan incliné par un angle égal à 34° et orienté plein sud, pour le jour 27/01/2016

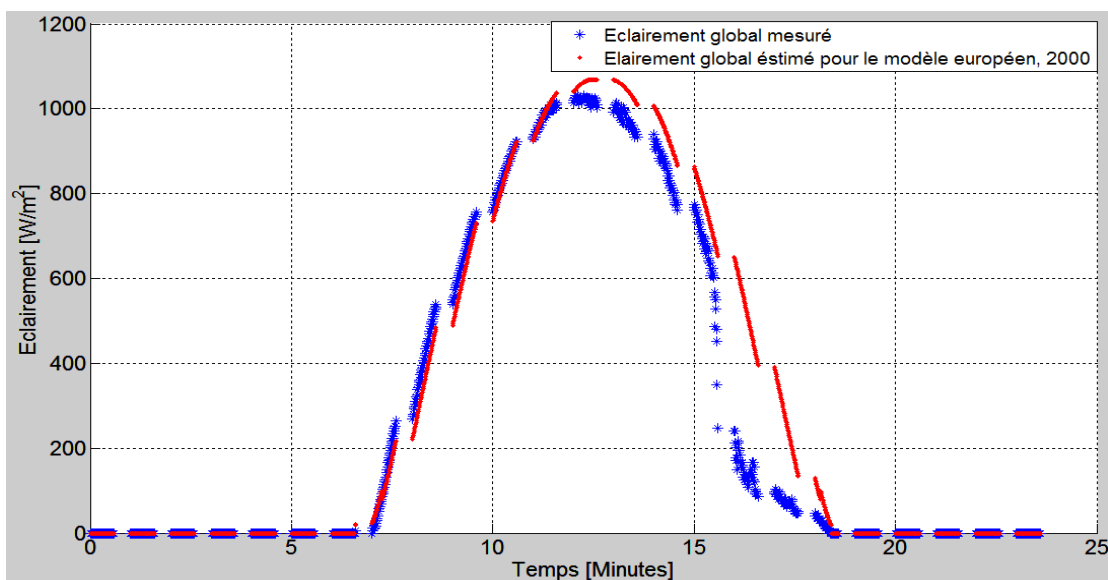


Figure II.3 : Eclairages globaux mesurés et estimés sur un plan incliné par un angle égal à 34° et orienté plein sud, pour le jour 01/10/2016

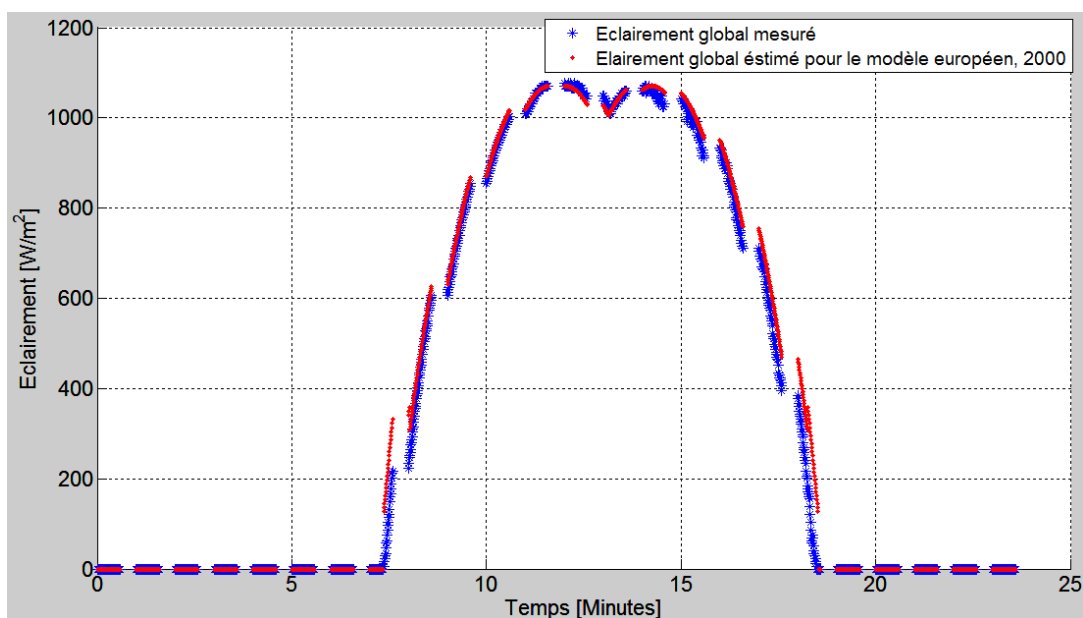


Figure II.4 : Eclairages globaux mesurés et estimés sur un plan incliné par un angle égal à 34° en poursuite discontinue (azimut de capteur -44° pour le Est et 44° pour l'Oust), pour le jour 24/02/2015

A partir des résultats obtenus, nous constatons que le modèle européen à ciel clair est en bonne concordance avec les valeurs mesurées, sauf au jour 01/10/2016, le ciel devient peu clair durant l'après-midi. Du point de vue application, bien que ce modèle ait été confronté sur le site d'Adrar appartenant aux différentes zones climatiques algériennes, nous considérons que ce modèle aura donné une satisfaction suffisante pour que le puissent être appliqué sur n'importe quel site algérien (en particulier les zone algérienne de grand sud) pour reconstituer l'éclairage à ciel clair.

II-3. Systèmes de suivi du soleil [04, 10]

II-3-1. Différents type de suivi de soleil

Un système permet de suivre la course du soleil au cours de la journée afin d'annuler l'angle d'incidence du rayonnement solaire et par conséquent augmenter la quantité d'énergie captée. Ces systèmes sont classés selon le nombre d'axes de mouvance et le mode de suivi adopté (continu, quotidien ou saisonnier). Parmi les plus répandus on peut citer les cas suivant :

II-3-1_1. Suivi à un axe continu

Le principe repose sur l'orientation à chaque instant du plan récepteur par rotation autour d'un axe (par rapport à l'axe vertical ou horizontal), de telle façon que la normale de ce plan soit constamment dans le plan de la direction du soleil.

Dans ce cas de suivi, on peut citer celui à axe parallèle à l'axe de rotation de la terre, appelée montage polaire. L'axe fait un angle égal à la latitude ϕ avec l'horizontale et est dans le plan méridien et on aura ainsi donc, l'angle d'incidence du rayonnement égale à l'angle de déclinaison du soleil δ .

II-3-1_2. Suivi à deux axes continus

Ce cas doit avoir deux degrés de libertés et permet de suivre la direction du rayonnement du soleil pour obtenir une incidence constamment normale.

Et on aura alors toujours ; $\cos(\alpha) = 1$ (II-31)

Mais ces techniques nécessitent des systèmes compliqués et un entretien régulier et minutieux quand ils sont installés en milieu saharien caractérisé par des vents de sables fréquents et des écarts de températures importants qui peuvent facilement endommager les circuits de commande électroniques ainsi que les chaînes cinématique du système. Un compromis est alors obtenu en optant pour un suivi à axe quotidien.

II-3-1_3. Suivi à un axe quotidien

Dans ce cas, on est conduit à ajuster quotidiennement le plan récepteur, c'est-à-dire un seul ajustement par jour. Ce type de suivi peut être étendu au suivi mensuel : un seul ajustement par mois. On peut citer dans ce cas :

II-3-1_3.1. Poursuite mensuelle

Dans ce cas, le plan est orienté au plein sud et incliné par l'angle optimal de mois (figure II.5). Dans ce cas l'ajustement est mensuel et l'inclinaison du plan est telle que le rayonnement soit maximal durant toute la journée. Il y a lieu de calculer l'angle optimum du plan pour le maximum d'énergie et cela pour chaque jour. Cet angle est calculé selon l'organigramme donné par la figure II.6.

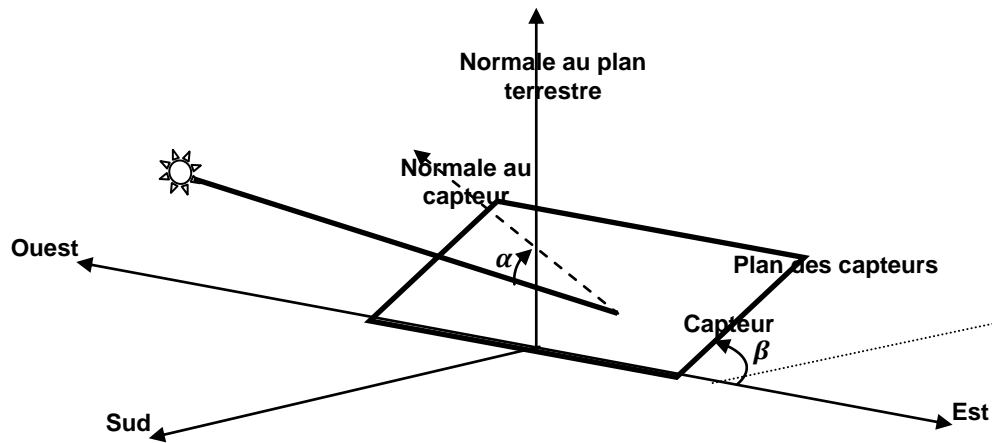


Figure II.5 : Concept de la poursuite mensuelle

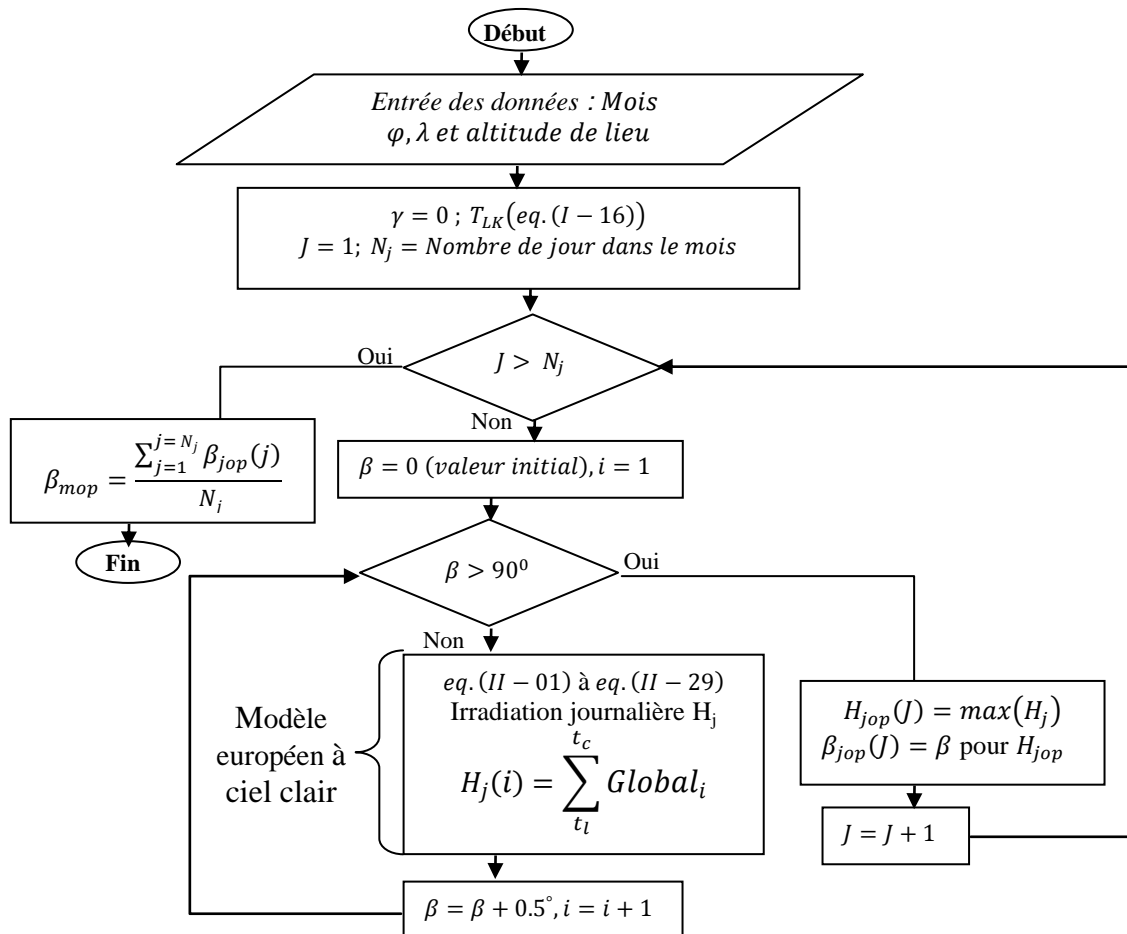


Figure II.6 : Algorithme de la méthode employée pour déterminer l'angle d'inclinaison optimal β_{opt} pour la poursuite mensuelle

Nous avons estimé l'angle d'inclinaison optimal β_{opt} moyen de chaque mois pour la région d'Adrar, et dont les valeurs sont données dans le tableau II.1.

Tableau II.1 : Valeurs de l'angle d'inclinaison optimal β_{opt} chaque mois trouvée pour le site d'Adrar

Mois	β_{opt} [°]
Janvier	66.1452
Février	58.0357
Mars	42.9355
Avril	12.8333
Mai	0
Juin	0
Juillet	0
Août	1.5806
Septembre	35.8500
Octobre	53.7258
Novembre	64.3667
Décembre	68.2903

II-3-1_3.2. Poursuite discontinu à deux positions [14, 15]

Dans ce cas, le capteur solaire est fixé sur une monture permettant de pivoter manuellement ou automatiquement autour d'un axe vertical selon le principe d'une poursuite discontinue à deux positions comme montré sur la figure II.7. Cette dernière est présenté le schéma descriptif montrant le concept de la poursuite solaire à deux positions autour d'un axe vertical. Cette technique fait appel à de simples mécanismes qui ne consomment pas beaucoup d'énergie car ils fonctionnent par impulsions. Le mécanisme ajuste le capteur solaire à deux positions à angle d'inclinaison β fixe et égale à la latitude du lieu considéré : Position Est durant la matinée (avant midi) et position Ouest durant l'après-midi.

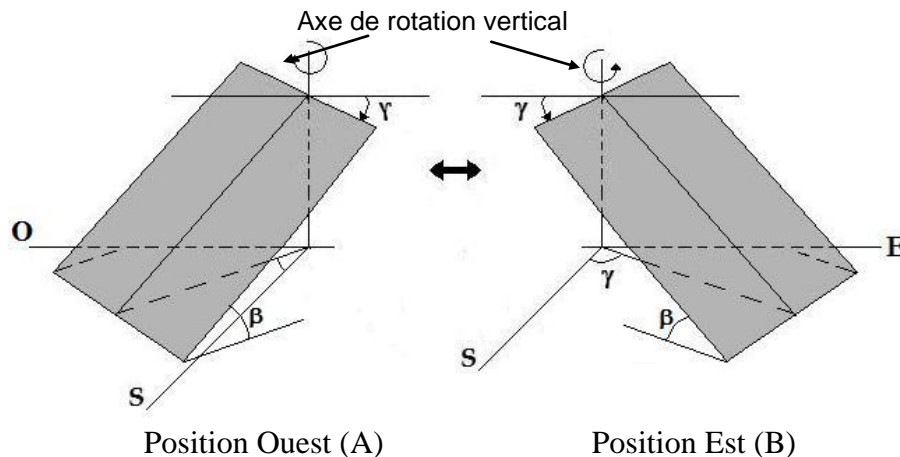


Figure II.7 : Concept de la poursuite solaire discontinue à axe vertical avec deux positions

Par rapport à l'orientation plein sud, les deux positions (A) et (B) montrées sur la figure II.7 sont obtenues par pivotement autour de l'axe vertical d'un angle azimut γ (négatif vers l'Est et positif vers l'Ouest).

Dans ce cas l'ajustement est quotidien et l'azimut du plan est tel que le rayonnement soit maximal durant toute la journée. Il y a lieu de calculer l'angle optimum du plan pour le maximum d'énergie et cela pour chaque jour. Cet angle est calculé selon l'organigramme donné par la figure II.8.

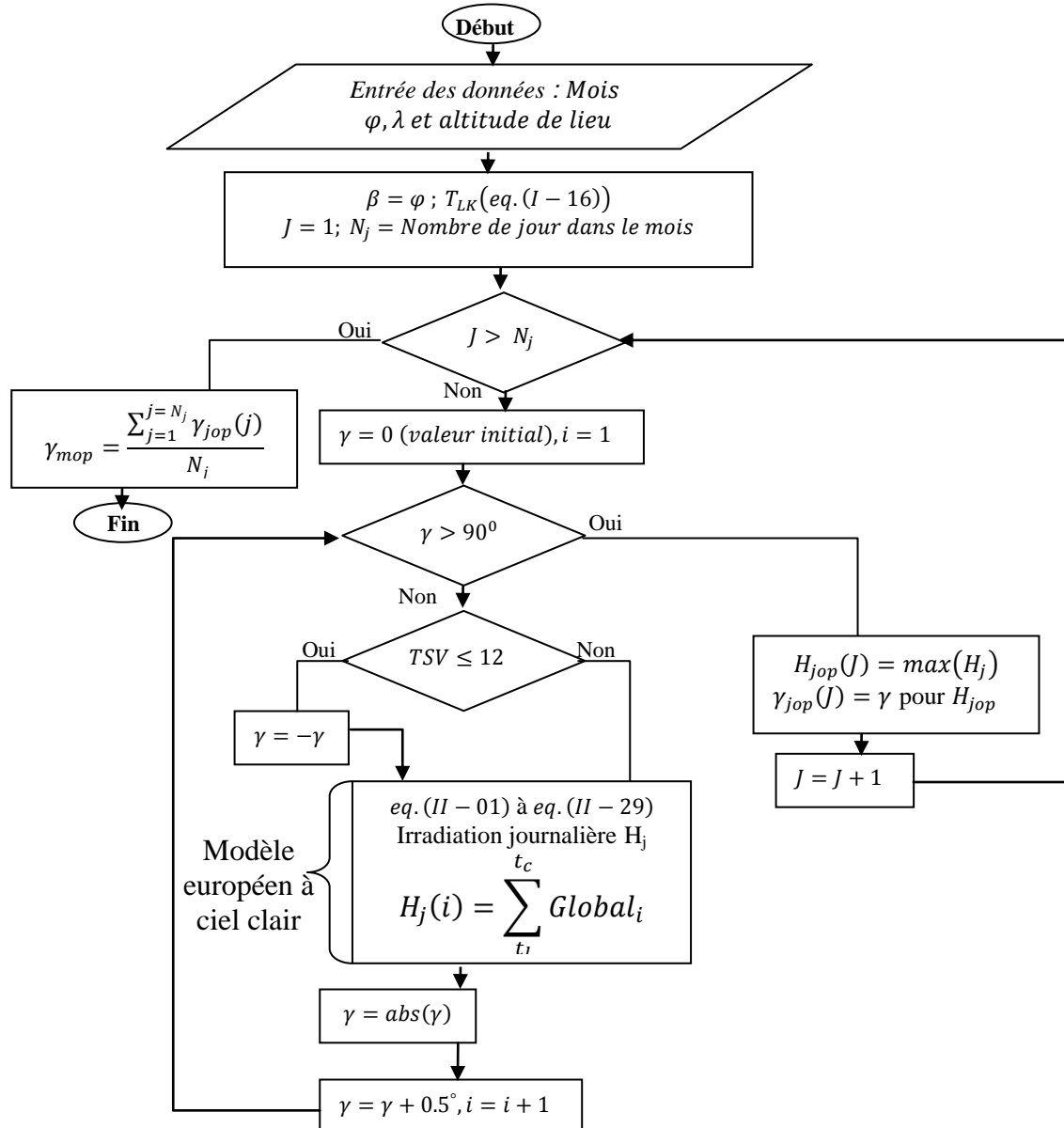


Figure II.8 : Algorithme de la méthode employée pour déterminer l'angle d'azimut optimal γ_{opt} pour la poursuite discontinue à deux positions

Nous avons estimé l'angle d'inclinaison optimal γ_{opt} moyen de chaque mois pour la région d'Adrar, et dont les valeurs sont données dans le tableau II.2.

Tableau II.2 : Valeurs de l'angle d'azimut optimal γ_{opt} chaque mois trouvé pour le site d'Adrar

Mois	γ_{opt} [°]
Janvier	37.8871
Février	45.0179
Mars	57.3871
Avril	73.8667
Mai	88.0161
Juin	90
Juillet	89.7742
Août	79.6290
Septembre	62.7667
Octobre	48.4355
Novembre	39.3333
Décembre	35.7742

II-4. Positionnement des capteurs solaires

L'emplacement du capteur solaire dépend de la position de la ressource aquifère et de la géographie de la zone. L'objectif de cette partie dans ce chapitre est de définir les techniques pratiques permettant la mise en place en cas d'utiliser plusieurs capteurs solaire [03].

Le capteur solaire ne fonctionnera pas correctement si certaines conditions d'emplacement et de positionnement ne sont pas respectées.

- Dans l'hémisphère nord, le capteur solaire, lorsqu'il est fixe, doit presque toujours faire face au sud vrai (et non au sud magnétique) et l'inclinaison du capteur solaire doit généralement être égale à la latitude du site.
- Si les obstacles environnants (arbres, maisons, bâtiments,...) projettent de l'ombre sur le capteur, le rendement du capteur en sera considérablement réduit. Il est donc absolument nécessaire d'éviter que les capteurs solaires soient à l'ombre durant la journée, particulièrement lors des périodes de fort ensoleillement (généralement, de 8^H du matin à 16^H de l'après-midi).

Afin de faciliter le positionnement du capteur solaire sur le site, la figure II.9 indique le positionnement et les distances des capteurs solaires par rapport aux obstacles au nord, au sud, à l'est et à l'ouest du capteur. Dans cette partie, on a basé seulement sur la distance entre deux capteurs successifs.

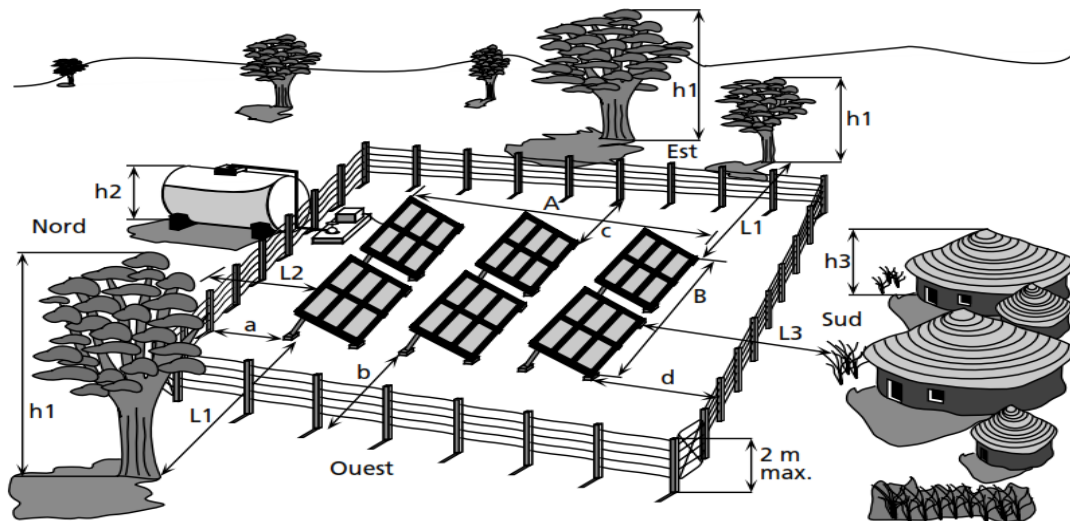


Figure II.9 : Positionnement du générateur par rapport aux obstacles

La méthode permet généralement de choisir un emplacement adéquat :

- Estimer (ou mesurer) la hauteur H de l'obstacle par rapport à l'emplacement choisi (figure II.10) ;
- Calculer la hauteur solaire minimale HS_{minimale} à la cour de l'année (généralement en Décembre).
- Calculer la distance L qui sépare l'obstacle du capteur en utilisant la formule suivante :

$$L = \frac{H}{\text{tg}(HS_{\text{minimale}})} \quad (\text{II-32})$$

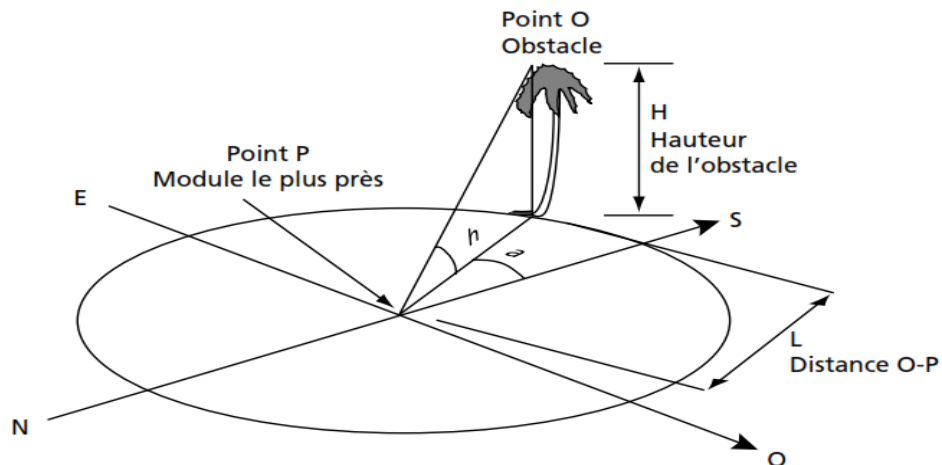


Figure II.10 : Coordonnées d'un obstacle

II-5. Récupération des irradiances horaires dues à l'ombrage (masque pour un pyranomètre) [05, 16, 17 et 18]

II-5-1. Principe du taux d'ombrage pendant un mois

Le principe de l'ombrage sur une base mensuel sert à proposer les hypothèses suivantes : L'ombrage devrait être l'ombre d'obstacles tels que des bâtiments, des arbres,...etc. Si l'ombrage existe, nous supposons qu'il est le même pour l'heure de chaque jour au cours du même mois.

Donc, afin d'appliquer le principe du taux d'ombrage, nous avons besoin au moins d'une heure avec beau temps dans le mois. La courbe d'irradiation globale maximale horaire H_{MH} est alors réalisée. On extrait les données maximales de $H_{horaire}$ pour toutes les heures.

On peut obtenir la caractéristique de l'irradiation horaire à ciel clair en utilisant les données d'irradiation maximales mesurées. Cependant, et par manque la connaissance à l'heure où l'ombrage existe et pour confirmer que il peut inclure l'effet d'ombrage. Le modèle d'irradiation théorique à ciel clair (modèle européen) est approché pour évaluer le taux d'ombrage.

La figure II.11 donne un exemple typique de l'effet d'ombrage trop petit qui a été détecté en Janvier 2015 sur le pyranomètre placé sur un plan horizontal. L'axe vertical correspond à l'irradiation $H_{horaire}$ calculée à partir les éclairements mesurés par le pyranomètre chaque minute.

Cette courbe est préparée comme suit : La courbe supérieure $H_{clairmax}$ est calculée théoriquement en employant un résultat évalué pour un éclairage d'un jour à ciel clair. L'irradiation à ciel clair est estimée par l'application théorique de modèle européen, par séparation de l'éclairement global et horizontal directe/diffuse. Dans cette méthode, le facteur d'ombrage K_{SH} est détecté pour le cas où l'irradiation à des valeurs maximum (H_{MH}) pour chaque heure. Pour cela, on trace une enveloppe de correspondant les heures et les jours, où l'irradiation horaire est maximale qui est $H_{clairmax}$, afin d'adapter les valeurs maximums de l'irradiation pour chaque heure (H_{MH}), de sorte qu'aucune valeur de l'énergie maximale H_{MH} ne dépasse le courbe prévue $H_{clairmax}$. Apparemment, l'effet de l'ombrage peut être identifié autour de 08^H , 12^H et 18^H suivant les indications du graphique. Dans ce cas-ci, la différence entre le point H_{MH} et le point $H_{clairmax}$ est provoquée par l'influence de l'ombrage. Si la composante diffuse de l'éclairement d'un jour à ciel clair est assumée à 20% par rapport à l'éclairement global, le facteur d'ombrage K_{SH} peut être calculé par l'équation (II.33).

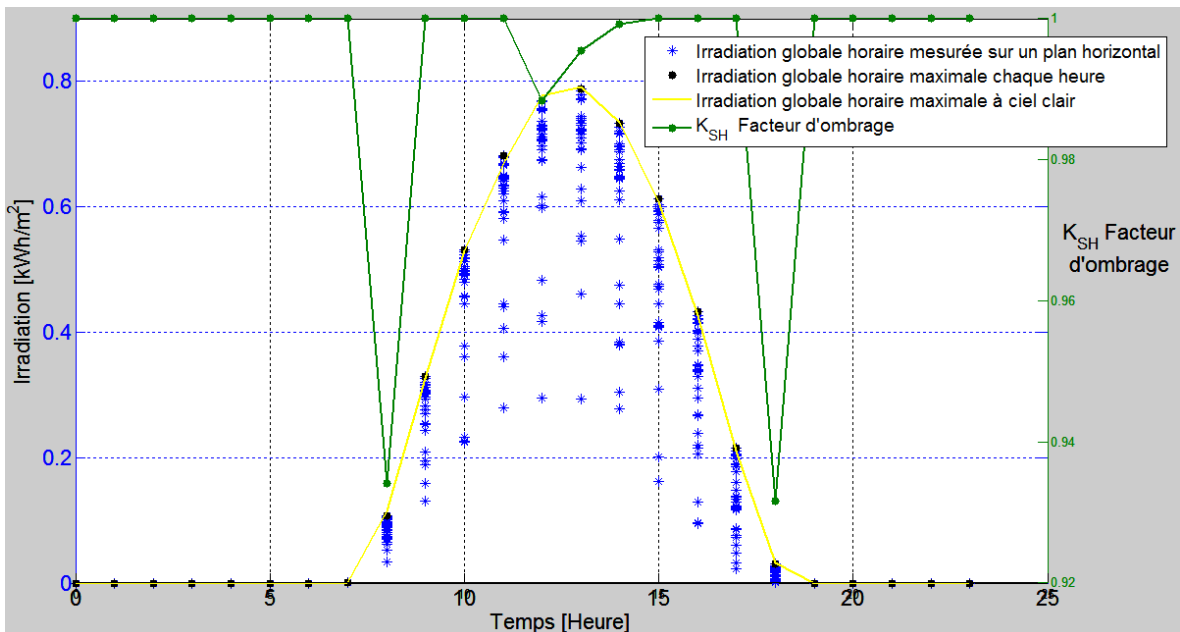


Figure II.11 : Exemple typique de l'effet d'ombrage

$$K_{SH} = \begin{cases} \frac{H_{MH} - 0.2H_{clairmax}}{0.8H_{clairmax}} & \text{si } H_{MH} \geq 0.2H_{clairmax} \\ 1 & \text{si } H_{MH} < 0.2H_{clairmax} \end{cases} \quad (\text{II-33})$$

K_{SH} utilise une partie seulement de l'irradiation directe. Pour un pyranomètre donné, on calcul chaque mois, le coefficient K_{SH} de sur surface de pyranomètre éclairée par un rayonnement direct, compte tenu des obstacles.

On dit que, toute la surface de pyranomètre est éclairée pendant l'heure, $K_{SH}=1$.

On dit que, aucun instant pendant l'heure, la surface de pyranomètre n'est éclairée, $K_{SH}=0$.

II-5-2. Identification des irradiances récupérées pour chaque heure

Les irradiances récupérées $H_{hrécu}$ en cas d'ombrage sont évaluées en utilisant K_{SH} et K_d pour chaque heure.

$$H_{hrécu} = \frac{H_{horaire}}{K_d + K_{SH} - (K_d \cdot K_{SH})} \quad (II-34)$$

Où $H_{horaire}$ est l'irradiation horaire calculée à partir les l'éclairement mesuré.

K_d est le coefficient de diffusion de l'éclairement.

II-6. Conclusion

L'évaluation du gisement solaire est très importante pour la conception ou bien la préparation des connaissances à l'avenir sur les performances des systèmes solaires. Dans ce but, nous avons appliqué le modèle européen à ciel clair qui peut donner l'éclairement pour n'importe quelle région, pour une journée donnée. Nous l'avons appliqué et validé avec des mesures expérimentales d'une station météorologique et des données d'un système de pompage photovoltaïque, fournies par les équipes de recherche à l'unité de recherche en énergies renouvelables en milieu saharien URER/MS. Les écarts constatés (visuel) sont petits et montre que le modèle européen à ciel clair est très satisfaisant. L'éclairement à ciel clair dans une région considérée, donc l'irradiation journalière et le gain énergétique ont pu être déduits par simple calcul, sans utilisation de beaucoup de tests expérimentaux.

Ainsi, nous avons appliqué ce modèle pour établir les masques pendant une heure à la cour de mois, et par conséquent, récupérer l'éclairement causé par la présence de l'obstacle.

La méthode idéale pour maximiser l'énergie solaire collectée au niveau+ du capteur solaire, est l'utilisation de système de poursuite. Les études théoriques et expérimentales ont montré que la poursuite discontinue (mensuelle et à deux positions) est performante et prometteuse, il a nous permis d'obtenir un gain énergétique par rapport un l'énergie solaire réceptionnée par un plan horizontal ou un plan incliné fixe. Dans ce cadre, Il faut de préparer un code de calcul simple pour déterminer l'angle d'inclinaison et azimuth optimaux de capteur solaire. C'est dans ce cadre que se propose d'une interface interactive sous MATLAB (Logiciel GUI). C'est l'objectif de Chapitre IV. Mais en avant on va donner dans le chapitre III un aperçu sur les outils de programmation pour cette interface, surtout le GUI : Interfaces Graphiques.

CHAPITRE III

Aperçu sur Matlab et sur GUI

Aperçu sur Matlab et sur GUI

III-1. Introduction

Matlab est un logiciel de calcul numérique commercialisé par la société Math Works. Il a été initialement développé à la fin des années 70 par *Cleve Moler*, professeur de mathématique à l'université du Nouveau-Mexique puis à Stanford, pour permettre aux étudiants de travailler à partir d'un outil de programmation de haut niveau et sans apprendre le Fortran ou le C. Matlab signifie "Matrix laboratory", il est un langage pour le calcul numérique et le traçage graphique, l'analyse de données, leur visualisation, le développement d'algorithmes. Son interface propose, d'une part, une fenêtre interactive type console pour l'exécution de commandes ainsi que d'outils pour concevoir des interfaces utilisateur graphiques, et d'autre part, un environnement de développement intégré (IDE) pour la programmation d'applications.

Matlab trouve ses applications dans de nombreuses disciplines. Il constitue un outil numérique puissant pour la modélisation de systèmes physiques, la simulation de modèles mathématiques, la conception et la validation (tests en simulation et expérimentation) d'applications. Le logiciel de base peut être complété par de multiples Toolboxes, c'est-à-dire des boîtes à outils. Celles-ci sont des bibliothèques de fonctions dédiées à des domaines particuliers. Nous pouvons citer par exemple : l'Automatique, le traitement du signal, l'analyse statistique, l'optimisation,...etc [19]. Donc, Matlab est un logiciel de calcul scientifique permettant de développer des solutions à des problèmes techniques.

Matlab peut être considéré comme un langage de programmation au même titre que C, Pascal ou Basic. C'est un langage interprété, il n'est pas nécessaire de compiler un programme avec l'exécuter, c'est-à-dire que les instructions sont exécutées immédiatement après avoir été tapées [20].

Exemple :

```
>>2+2  
ans=4  
>>5^2  
ans=25
```

La réponse est affichée et stockée dans la variable ans.

III-2. Définition

III-2-1. Lancer Matlab

Sur un PC suivant que l'on a une version Windows de Matlab, on cliquera sur l'icône Matlab.

III-2-2. Commandes Matlab de base [21]

Dans les tableaux ci-dessous, nous avons présenté les commandes Matlab de base.

Tableau III.1 : Aide via la fenêtre de commande

clc	Efface la fenêtre de commande
clear	Efface les variables et les fonctions en mémoire
load	Charge les variables à partir d'un fichier
pack	Réorganise l'espace mémoire
save	Sauvegarde les variables de l'espace de travail

Tableau III.2 : Fonctions utiles liées à l'espace de travail

axis	Permet la gestion des axes
Figure	Ouvre une fenêtre graphique
plot	Trace un graphique
semilogx	Trace un graphique semi-logarithmique
subplot	Fractionne une fenêtre pour insérer plusieurs graphiques
Title	Ajoute un titre au graphique courant
xlabel	Ajoute une étiquette à l'axe des x du graphique courant
ylabel	Ajoute une étiquette à l'axe des y du graphique courant

Tableau III.3 : Fonctions graphiques utiles

Doc	Démarre l'aide de Matlab sous forme HTML
help	Présente les différents sujets d'aide regroupés par catégories
help function	Donne de l'aide sur la fonction spécifiée
help help	Donne de l'aide sur l'utilisation de l'aide
lookfor keyword	Recherche le mot-clé dans les différents fichiers de type *.m

III-2-3. Variables [20]

On peut indiquer le nom de la variable dans laquelle le résultat doit être stocké (commence par une lettre, moins de 19 caractères).

Attention, Matlab prend en considération les majuscules (x est différent de X).

```
>>x=pi/4
x=0.7854
```

Le nom de cette variable ainsi que le résultat sont affichés.

Un point-virgule à la fin de la ligne permet de ne pas afficher ce résultat. On peut taper plusieurs commandes par ligne, séparées par un point-virgule.

```
>>x=pi/2; y=sin(x);
```


Lorsqu'un ligne de commande est trop longue on peut l'interrompre par trois points (...) et la poursuivre à la ligne suivante, on peut aussi mettre des commentaires dans une ligne de commande à l'aide du signe "%".

III-2-4. Vecteurs, matrices et leurs manipulations

En fait, toute variable de Matlab est une matrice (scalaire : matrice 1x1, vecteur : matrice 1xN ou Nx1). On peut spécifier directement une matrice sous la forme d'un tableau, l'espace ou la virgule sépare deux éléments d'une même ligne, les points virgules séparent les éléments de lignes distinctes.

```
>>A= [1,2,3 ;4,5,6 ;7,8 ,9]
      1  2  3
A= 4   5  6
     7  8  9
```

Les éléments d'une matrice peuvent être n'importe quelle expression de Matlab :

```
>>x= [-1.3, sqrt(3), (1+2+3)*4/5]
x=-1.3000 1.7321 4.8000
```

Les éléments d'une matrice peuvent être référencés par leurs indices :

```
>>x(2)
ans=1.7321
>>x(5)=abs(x(1))
x=-1.3000 1.7321 4.8000 0.0000 1.3000
```

On peut remarquer que la taille du vecteur x a été ajustée en remplissant les éléments non précisés par 0.

On peut aussi créer des matrices avec les fonctions zeros, ones et eye. Ces fonction créent des matrice de la taille précisée, respectivement remplies de zeros, de un, et de un sur la diagonale et des zéros ailleurs (eye=prononciation anglaise de I comme identité).

```
>>eye(2,3)
ans= 1  0  0
     0  1  0
>>ones(1,5)
ans=1 1 1 1 1
```

On peut avoir des informations sur la taille d'une matrice :

```
>>size(x)
ans=1 5
>>length(x)
ans=5
```

On peut ajouter des lignes et des colonnes à des matrices déjà existantes.

```
>>r1= [10,11,12] ;
>>A= [A ;r1]
      1  2  3
A= 4   5  6
     7  8  9
    10 11 12
```

On peut avoir le transposé ou le transposé conjugué d'une matrice :

```
>>A'% Transposée conjuguée de A
>>A.'% Transposée de A
```

Mais aussi des retournements horizontaux (flipud : Up/Down), verticaux (fliplr : left/Right), ou des rotations de matrices :

```
>> flipud (A) % Retournement vertical de A
>> fliplr (A) % Retournement horizontal de A
>>rot90(A)% Rotation de A de 90 degrés
```

On peut également remettre en forme des matrices et vecteurs sur un nombre de lignes et de colonnes donnée (à condition que le nombre total d'éléments corresponde) :

```
>>B= [1 2 3 4 5 6] ;
>>B= reshape (B, 2, 3)% Remise en forme avec 2 lignes et % 3 colonnes
B=
 1  3  5
 2  4  6
```

III-2-5. Fonctions de base

size(x) : renvoie la taille de l'objet x ;

sin(), exp(), abs(),sqrt(), log(), min(), max() : les fonctions mathématiques classiques ;

plot(x, y) : trace le vecteur y en fonction du vecteur x.

III-2-6. Types de fichiers [22]

En Matlab, il y a 3 types de fichiers principaux :

- Fichiers ".m" : fichiers de commandes de Matlab ;
- Fichiers ".mat" : fichiers contenant des données (format spécifique à Matlab) ;
- Fichiers ".fig" : fichiers non-lisibles contenant ce qu'il faut pour recréer une figure lors d'une séance ultérieure.

III-2-6_1. Fichier .m

Un fichier .m est un fichier contenant des énoncés Matlab comme si on les entrait soi-même au terminal. Ces énoncés peuvent être d'autres fichiers .m. On peut même rappeler le même fichier .m (récursivité). Il y a deux types de fichiers .m :

- Les fichiers .m ordinaires (script). Les variables sont toutes globales.
- Les fichiers .m fonctions. Une ligne au début du fichier identifie qu'il s'agit d'un fichier fonction. Les variables de cette fonction sont alors locales et détruites après exécution.

III-2-6_2. Fichier .mat

Des fichiers .mat obtenus par «save» peuvent être relus avec «load». Ces fichiers contiennent les variables (en tout ou en partie) créées lors d'une session précédente. Ces fichiers ne sont pas lisibles directement en dehors de Matlab.

Exemple :

```
>>save données % sauve toutes les variables et matrices (le «workspace») dans le fichier données. mat.
```

On peut créer un fichier .mat à partir d'un fichier Excel en utilisant la commande import data.

III-2-7. Contrôler la séquence des instructions [22]

Comme beaucoup d'autre langage, Matlab peut contrôler la séquence des instructions d'un programme. Il y a plusieurs façons de faire, parmi-elles.

III-2-7_1. Boucle for

Peut répéter un ensemble d'instruction un nombre donne de fois, en utilisant l'instruction for.

La forme générale de la boucle est alors :

```
for variable=expression;
    instruction;
end
```

III-2-7_2. Contrôle if

L'instruction if exécute un ensemble de commande si une condition est satisfaite.

La syntaxe générale est :

```
if condition
    Commandes 1;
else
    Commandes 2;
end
```

Ces commandes peuvent être enrichies de la façon suivante :

```
If condition
    Commandes 1;
elseif condition
    Commandes 2;
else
    Commandes 3;
end
```

III-2-8. Affichages graphiques

Matlab permet un grand nombre de type d'affichage, 1D seul le plus courant sera décrit ici.

La commande plot permet l'affichage d'une courbe 1D :

```
>>x= 0:0.1:2 ; y=sin (x*pi) ;
>>plot (x*pi, y) % plot (abscisse, ordonnée)
```

On peut ajouter un titre aux figures ainsi que des labels aux axes avec les commandes title, xlabel, ylabel ;

```
>>title ('Courbe y= sinus (pi*x)')
>>xlabel ('x') ; ylabel ('y')
```

III-3. Réalisation d'interface Graphiques [20]

En plus des caractéristique exceptionnelles de MATLAB pour les calculs scientifique et technique, l'utilisateur peut créer, pour ses application ses propres interfaces graphique (GUI : Graphical User Interface).

En effet, MATLAB prévoit un ensemble de commandes et fonction dont l'utilisation est relativement aisée pour la création et la manipulation d'objet graphiques (fenêtres, menus, boutons de commande, cases à cocher, etc.).

Pour aborder ce chapitre, le lecteur doit connaître les notions de 'handles' (ou poignées sur les objets), les objets graphiques la spécification et la modification des propriétés d'objets.

III-3-1. Les contrôles

Les contrôles sont des objets graphiques qui réagissent et provoquent une action lorsqu'ils sont manipulés par la souris ou le clavier.

Sous une interface graphique, la communication avec l'utilisateur est généralement établie à l'aide des 'contrôles' tels que les groupes d'options, cases à cocher, boutons de commande, textes statiques et textes modifiables. Ainsi, les programmes offrent une meilleure convivialité, car il suffit d'un simple clic avec le pointeur de la souris pour définir, par exemple, de nouvelles valeurs.

III-3-1_1. Les types de contrôles

Dans MATLAB, on trouve différents types de contrôles. Leur allure dépend de la plate-forme sur laquelle nous travaillons (Unix, MS Windows, etc.). Nous donnerons des exemples en utilisant l'environnement MS Windows.

Liste des contrôles présents dans MATLAB :

- **Bouton poussoir :**

Le bouton- poussoir est aussi connu sous l'appellation bouton de commande (figure III.1). Il contient généralement le texte "OK" ou "Annuler". Une action précise s'exécute dès que l'utilisateur effectue un clic sur ce bouton.



Figure III.1 : Bouton-poussoir

- **Case à cocher :**

Les cases à cocher permettent à l'utilisateur de sélectionner une ou plusieurs options parmi plusieurs alternatives (figure III.2). Ces cases à cocher se comportent comme des interrupteurs, indiquant s'ils sont actionnés ou non. Par convention, ces cases à cocher sont indépendantes les unes des autres. On peut en cocher n'importe quel nombre, l'état de l'une d'entre elles ne doit pas influencer sur celui des autres.

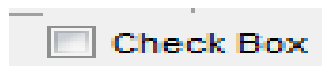


Figure III.2 : Case à cocher

- **Bouton radio :**

Les boutons radio ou bouton d'option offrent à l'utilisateur la possibilité de choisir entre plusieurs alternatives exclusives (figure III.3). Comme les cases à cocher, les boutons radio se comportent comme des interrupteurs indiquant leurs états d'activation. La seule différence est qu'ils doivent être programmés comme étant mutuellement exclusifs on peut en activer qu'un seul parmi un ensemble des boutons proposés.

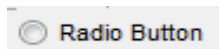


Figure III.3 : Bouton radio

- **Les barres de défilement (Slider) :**

Les barres de défilement permettent à l'utilisateur de choisir une valeur appartenant à un intervalle donné (figure III.4). Ce sont des objets graphiques disposant d'un indicateur mobile qui représente la position relative de la valeur courante dans l'intervalle autorisé. La propriété "valeur de la barre de défilement" peut être modifiée soit par le déplacement de l'indicateur mobile, soit par les flèches disposées à chaque extrémité de l'objet graphique.



Figure III.4 : Barre de défilement ou Slider

- **Les zones de textes :**

On distingue deux types de zones de texte : une zone pour du texte statique, une autre pour du texte éditable.

- ❖ **Zone de texte statique :**

Une désignation, que l'utilisateur ne peut modifier, est utilisée pour afficher un texte. Il s'agit normalement d'un titre ou d'une brève explication. La valeur de cette zone peut être modifiée par programmation (figure III.5).

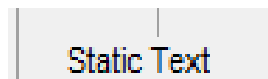


Figure III.5 : Zone de texte statique

- ❖ **Zone de texte éditable (ou champ d'édition) :**

C'est une zone de texte que l'utilisateur peut modifier. Elle représente un véritable éditeur de texte. Sa valeur est une chaîne de caractères (d'une ou plusieurs lignes) qui sera utilisée par l'application (figure III.6).

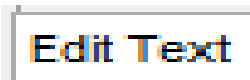


Figure III.6 : Zone de texte éditable

III-3-1_2. Les propriétés des contrôles

Tous les objets graphiques de MATLAB ont des propriétés qui contrôlent la façon dont ils sont affichés à l'écran. Ces propriétés contiennent des informations générales (le type de l'objet, l'objet parent, les objets enfants, etc.) et des informations spécifiques au type d'objet considéré (les échelles des axes, les données pour le tracé du graphe, etc.). A chaque création d'un objet, un "handle" lui est associé, ainsi que des valeurs par défaut aux différentes propriétés générales et particulièrement de l'objet.

On peut obtenir des informations sur les valeurs courantes des propriétés d'un objet par la commande "get". Il est aussi possible de modifier les valeurs de certaines propriétés à l'aide de la commande "set" (certaines propriétés ne sont pas modifiables par l'utilisateur). Un certain ensemble de propriétés est disponibles pour tous les objets.

Pour consulter les valeurs des propriétés d'un objet ayant pour "handle" h, on utilisera get(h). Pour obtenir la liste des propriétés modifiables d'un objet de "handle" h, on utilisera la commande set (h). Cette même commande permettra de fixer les valeurs des propriétés d'un objet. Sa syntaxe est la suivante :

Set (Handle, 'propriété P1','ValeurP1','propriétéP2','ValeurP2',...)

Appliquée à un vecteur de "handle", la commande "set" aura pour résultat, la modification des propriétés spécifiées pour tous les objets dont on a indiqué les pointeurs.

Pour récupérer la valeur d'une propriété, on utilisera la fonction "get".

V=get (Handle, 'propriété')

Pour supprimer un objet graphique, on utilisera la commande "delete" en spécifiant le "handle" de l'objet.

Delete (Handle)

Nous allons, dans ce qui suit, décrire les propriétés les plus utilisées ainsi que leurs significations (tableau III.4). Certaines propriétés ne sont valables que pour des types particuliers de contrôles.

Tableau III.4 : Propriétés des contrôles courantes et leurs significations

Propriété	Description
backgroundColor	Couleur du fond du contrôle
Callback	Action à exécuter lorsque le contrôle est activé
foregroundColor	Spécifie la couleur du texte ou du tracé pour le contrôle
horizontal Aligment	Position du texte dans un contrôle
Max	Valeur maximale que peut prendre le contrôle
Min	Valeur minimale que peut prendre le contrôle
Position	Position et taille du contrôle
String	Définit le texte qui apparaît sur le contrôle
Style	Définit le type de contrôle (bouton-poussoir, texte, etc.)
Type	Type de l'objet "uicontrol" pour les contrôles.
Units	Unité de mesures de contrôle (pour la position et la taille)
userData	Matrice associée à l'objet
Value	Valeur courante du contrôle
Visible	Indique si l'objet apparaît ou non à l'écran
Parent	Représente le "handle" sur l'objet parent
Interruptible	Indique si le callback peut être interrompu ou non

- **Style :**

Cette commande identifie le type de contrôle utilisé. Les valeurs possibles sont données dans le tableau qui suit.

Contrôle	Valeur
Bouton-poussoir	Pushbutton
Bouton radio	radiobutton
Case à cocher	Checkbox
Texte statique	Text
Texte éditable	Edit
Menu popup	Popupmenu
Cadre	Frame
Barre de défilement	Slider

- **String :**

Représente :

- Le texte qui apparaît sur le contrôle dans le cas du bouton-poussoir.
- Le texte à côté des boutons radio et des cases à cocher.
- La valeur par défaut dans le cas d'un texte éditable.
- La liste des choix pour les menus popup.
- Les textes apparaissant sur le contrôle pour le texte statique.

Cette propriété n'est pas utilisée pour les cadres et les barres de défilement.

- **Valeur :**

Représente la valeur courante du contrôle.

- **Position :**

La propriété "position" permet spécifier la position d'un contrôle ainsi que sa taille. La valeur de cette propriété est un tableau à quatre éléments [gauche, bas, hauteur, largeur].

Gauche : distance du coin inférieur gauche de la fenêtre au côté bas du contrôle.

Bas : distance du côté bas de la fenêtre au côté bas du contrôle.

Hauteur : hauteur du contrôle.

Largeur : largeur du contrôle.

- **Callback :**

Les actions réalisées par un contrôle, lorsqu'il est activé, sont données par la propriété 'callback'. La valeur de cette propriété est une chaîne de caractères pouvant être une commande MATLAB, le nom d'une variable ou un fichier .m.

Cette chaîne est évaluée par la fonction 'eval' lorsque le contrôle est sélectionné. Dans le cas d'action complexe, il est conseillé d'utiliser une fonction pour la propriété "callback".

- **Visible :**

Cette propriété détermine si l'objet graphique apparaîtra sur la figure. Les valeurs possibles sont "on" ou "off". L'intérêt de cette propriété est d'afficher seulement les contrôles nécessaires à un moment donné de l'exécution de l'application.

- **Min et Max :**

Valeurs minimale et maximale de l'intervalle pour un contrôle de type barre de défilement. Ces valeurs permettent aussi de spécifier si une zone de texte éditable contient une ou plusieurs lignes.

III-3-2. Version 10 de MATLAB

La version 10 de MATLAB s'est dotée de nombreuses nouvelles fonctionnalités. Les types de donnée ont été enrichis par les structures, les objets, les cellules, les ensembles et le tableau multidimensionnel.

La possibilité de programmation orientée dans cette nouvelle version, autorise la création d'applications encore plus complexes.

Le nouvel éditeur/débogueur intégré permet une mise au point interactive des programmes et le profiler mesure la complexité en temps de calcul dans le but d'optimisation d'algorithmes.

Les possibilités de visualisation graphique ont été améliorées et étendues. Notamment, la réalisation interactive d'interfaces graphique avec l'outil 'guide'.

III-3-2_1. Création de contrôles

Lancer 'guide' (commande : `>> guide`), une fenêtre apparaîtra intitulée 'untitled 1' (figure III.7)

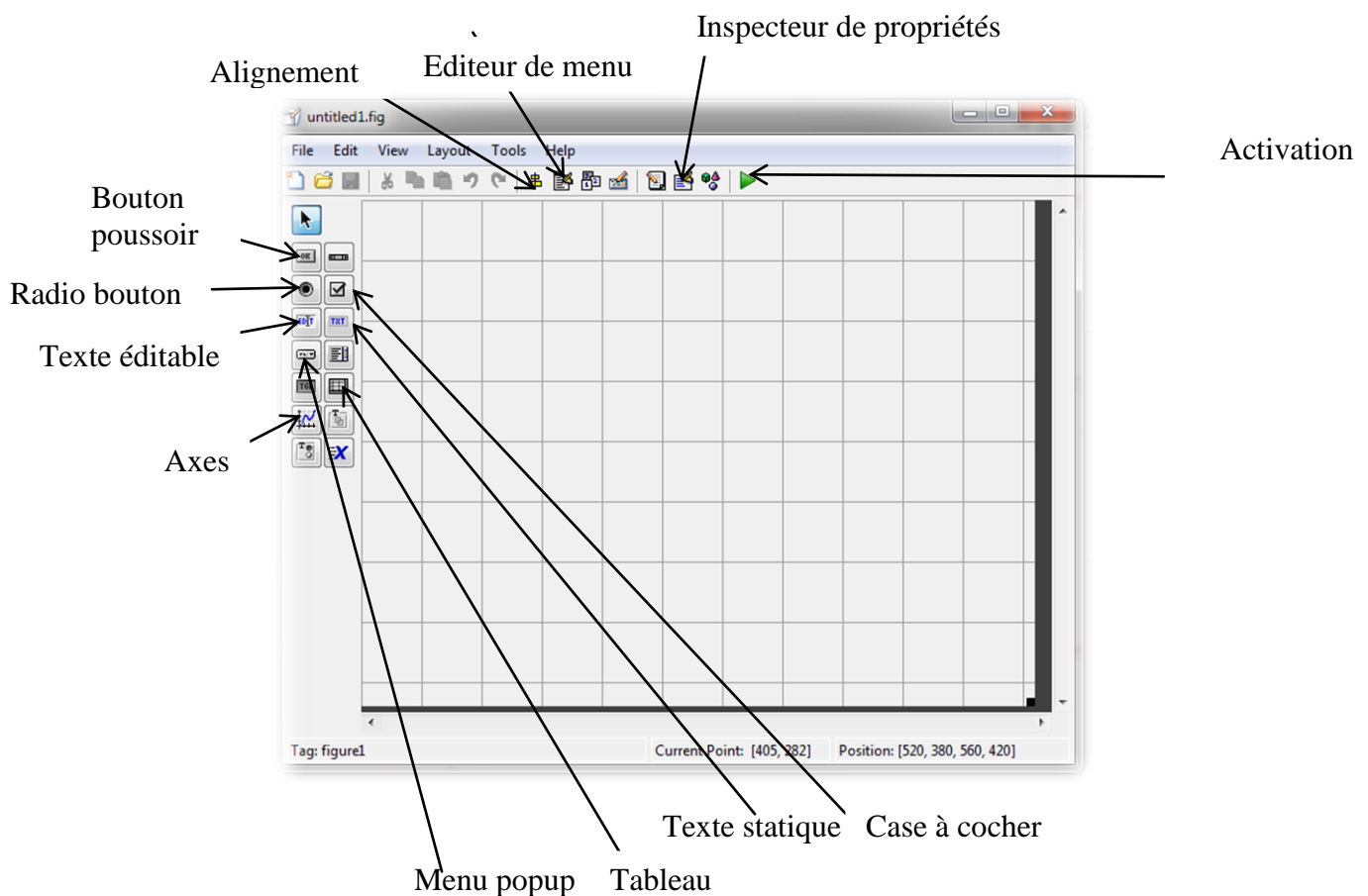


Figure III.7 : Fenêtre de guide

La meilleure manière d'apprendre à réaliser des interfaces est l'apprendre sur des exemples. Dans la suite, nous allons donner des exemples sur la création des différents contrôles.

Exemple 01 : Le produit et la somme

Dans l'exemple suivant, par exemple, on veut créer un simple GUI qui fait lire deux entiers A et B, et affiche leur somme, produit. Voici alors les étapes de création et d'exécution :

- ✓ Cliquer sur l'icône 'Static Text' puis cliquer le sur la forme afin de créer un texte statique 'text1'. Modifier son nom en double-cliquant sur text1. L'inspecteur d'objet se montre. Chercher la propriété 'String' et modifie la avec la valeur "Entrer la valeur 01".
- ✓ Répéter la tache précédente pour créer 'text2' avec la valeur "Entrer la valeur 02".
- ✓ Maintenant cliquer sur l'icône 'Edit Text' pour créer un 'edit1' en plaçant le juste à côté de 'text1' et modifie sa valeur (valeur vide) comme pour text1 et en affectant 'Tag' par 'a'.
- ✓ Répéter la tache précédente pour 'edit2'.
- ✓ De la même manière créer des textes 'text3', 'text4' avec les valeurs 'Produit', 'la Somme respectivement.
- ✓ Ensuite créer les édites 'edit3', 'edit4' avec des valeurs vides.
- ✓ Ajouter un bouton pushbutton1 et nommer le 'calcul'.

Le GUI se figure comme suit (figure III.8) :

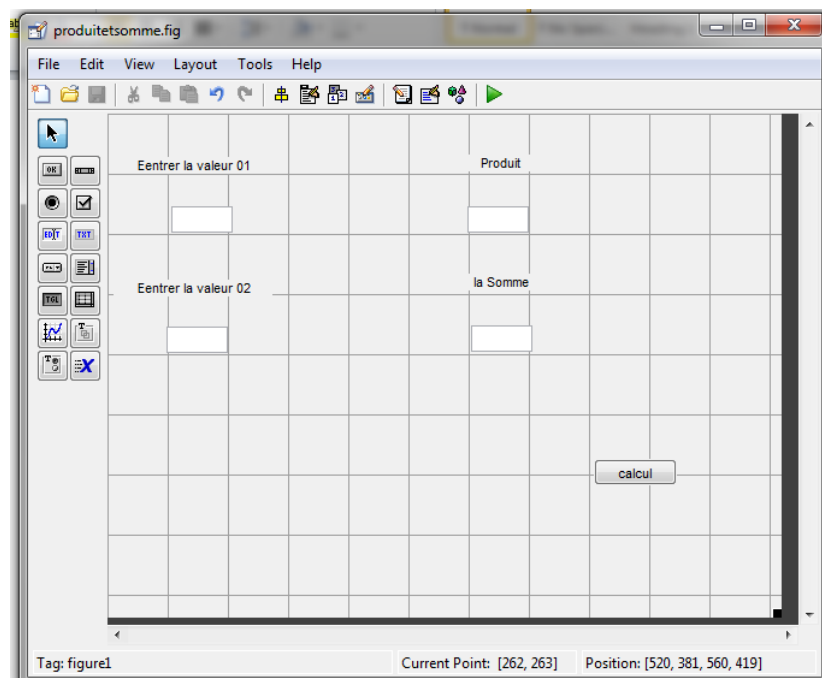


Figure III.8 : Figure de base de l'exemple 01

Maintenant, cliquer avec le bouton droit de la souris sur le bouton 'calcul' et sélectionner l'option 'View Callbacks->Callback'. Matlab interrompt l'action et demande de sauvegarder le gui (produitetsomme).

Matlab affiche sur l'éditeur le contenu de produitetsomme.m qui est créé automatiquement par Matlab.

Editer la fonction 'pushbutton1_Callback' comme le programme à la dernière cet exemple.

Sauvegarder, puis exécuter le script produitetsomme.m en cliquant sur 'Run', on obtient une interface comme représenté dans la figure III.9.

```
>>produitetsomme
```

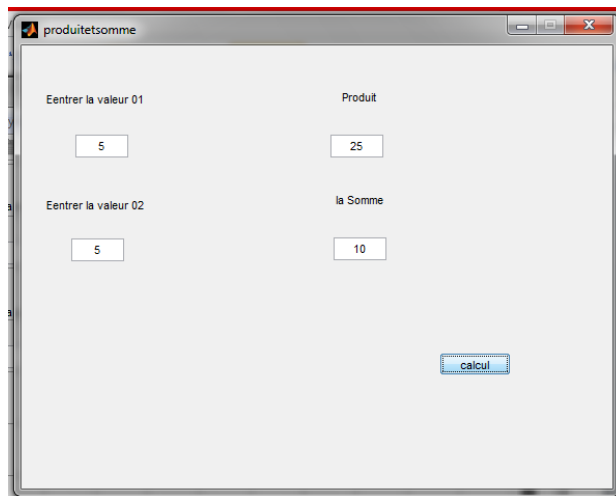


Figure III.9 : Figure activée de l'exemple 01

Le fichier 'produitetsomme.m' est :

```
function varargout = produitetsomme(varargin)
% PRODUITETSOMME MATLAB code for produitetsomme.fig
%   PRODUITETSOMME, by itself, creates a new PRODUITETSOMME or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = PRODUITETSOMME returns the handle to a new PRODUITETSOMME or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   PRODUITETSOMME('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in PRODUITETSOMME.M with the given input arguments.
%
%   PRODUITETSOMME('Property','Value',...) creates a new PRODUITETSOMME or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before produitetsomme_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to produitetsomme_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help produitetsomme

% Last Modified by GUIDE v2.5 21-Apr-2017 10:42:02

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @produitetsomme_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @produitetsomme_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
```

```

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before produitetsomme is made visible.
function produitetsomme_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to produitetsomme (see VARARGIN)

% Choose default command line output for produitetsomme
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes produitetsomme wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = produitetsomme_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function a_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to a (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of a as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of a as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function a_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to a (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function b_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to b (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of b as text
%   str2double(get(hObject,'String')) returns contents of b as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function b_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to b (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%   See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function c_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to c (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of c as text
%   str2double(get(hObject,'String')) returns contents of c as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

function c_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to c (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%   See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function d_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to d (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of d as text
%   str2double(get(hObject,'String')) returns contents of d as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function d_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to d (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%   See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton1.

```

```

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
a= str2num(get(handles.a, 'String'));
b= str2num(get(handles.b, 'String'));
c=a*b;
    d=a+b;

    set(handles.c, 'String',c);
set(handles.d, 'String',d);

```

Exemple 02 : Radio

Dans l'exemple suivant, nous allons créer un groupe de trois boutons radio pour le choix entre 3 couleurs (rouge, bleu ou vert). Ce choix est rendu exclusif par programmation (figure III.10). Lorsque la figure est activée, le choix d'un couleur entraine l'affichage du texte couleurs choisie : suivie du texte "Rouge", "Bleu", ou "Vert" selon le choix effectué (figure III.11).

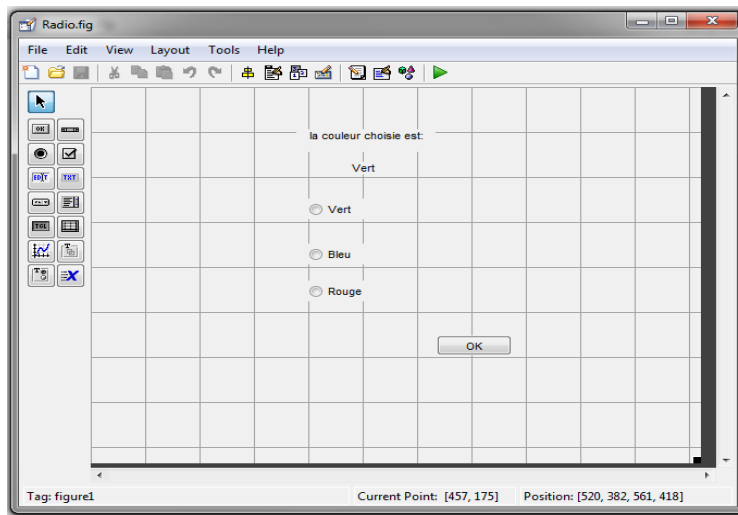


Figure III.10 : Figure de base de l'exemple 02

Sauver l'interface graphique 'Radio.m' et 'Radio.fig'. Depuis MATLAB, taper :

Construire la disposition graphique de la (figure III.11) :

>>Radio

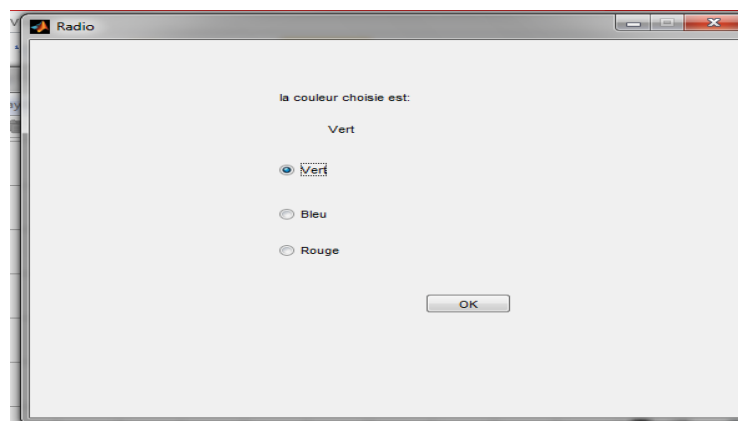


Figure III.11 : Figure activée de l'exemple 02

Fixer les propriétés de chaque objet :

```
Text 01 : 'string' : ' la couleur choisie est :'
Text 02: 'string': 'vert',
Radiobutton01: 'string': 'vert', 'Tag': 'vert', 'value', '0'.
Radiobutton02: 'string': 'vert', 'Tag': 'Bleu', 'value', '0'.
Radiobutton03: 'string': 'vert', 'Tag': 'Rouge', 'value', '1'.
```

Dans les propriétés "callback", on doit s'assurer qu'un seul bouton est actif à la fois.

Le fichier 'Radio.m' est (Partie essentielle) :

```
function varargout = Radio(varargin)

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Radio_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in vert.
function vert_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to vert (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
v=get(gcbo,'value');
if v==1;
    h=findobj(gcf,'tag','bleu');
    set(h,'value',0);
    h=findobj(gcf,'tag','rouge');
    set(h,'value',0);
    h=findobj(gcf,'tag','text2');
    set(h,'string','Vert');
end
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of vert

% --- Executes on button press in bleu.
function bleu_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to bleu (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
v=get(gcbo,'value');
if v==1;
    h=findobj(gcf,'tag','vert');
    set(h,'value',0);
    h=findobj(gcf,'tag','rouge');
    set(h,'value',0);
    h=findobj(gcf,'tag','text2');
    set(h,'string','Bleu');
end
```

```
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of bleu

% --- Executes on button press in rouge.
function rouge_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to rouge (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
v=get(gcbo,'value');
if v==1;
    h=findobj(gcf,'tag','bleu');
    set(h,'value',0);
    h=findobj(gcf,'tag','vert');
    set(h,'value',0);
    h=findobj(gcf,'tag','text2');
    set(h,'string','Rouge');
end
```

Exemple 03 : Le menu popup et les graphes

On se propose de créer un menus popup qui permettront d'exécuter respectivement les programmes des fonctions sinus et exponentielle. Ces des menus popup réalisent simplement les tracés des représentations graphique des fonctions sinus sur l'intervalle $[-\pi, \pi]$ et exponentielle.

Sur la fenêtre graphique précédente, cliquer sur 'OK', puis sélectionner sa position dans l'espace blanc. En relâchant le bouton gauche de la souris, le bouton poussoir apparaîtra immédiatement intitulé 'Pushbutton' (figure III.12).

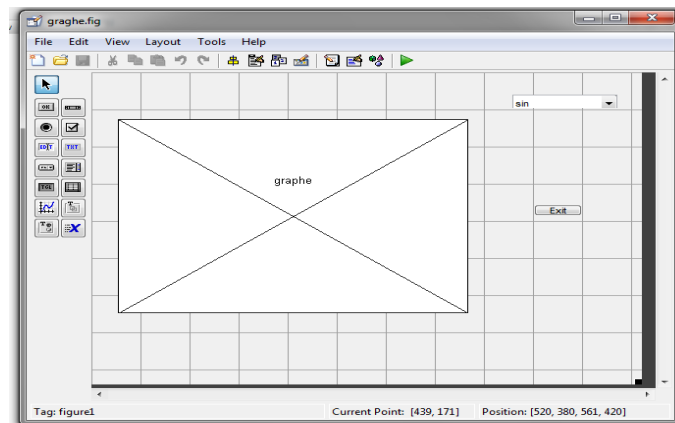


Figure III.12 : Figure basée de l'exemple 03

Il ne nous reste qu'à configurer les différentes propriétés. Ainsi, double cliquez sur le bouton poussoir, le tableau des propriétés (figure III.13) apparaîtra, puis nous spécifions pour notre bouton les propriétés suivantes :

Changer le contenu de la case 'String' : 'Pushbutton1' à 'Sinus' (chaîne de caractères qui apparaîtra sur le bouton) et valider par OK.

Et pour faciliter le repérage du callback du bouton dans le script (action que MATLAB réalise lorsque l'utilisateur active le contrôle), on préfère choisir un nom unique pour le 'String' et 'Tag' (nom unique affecté au contrôle).

De la même manière configuration le bouton poussoir 'exp'.

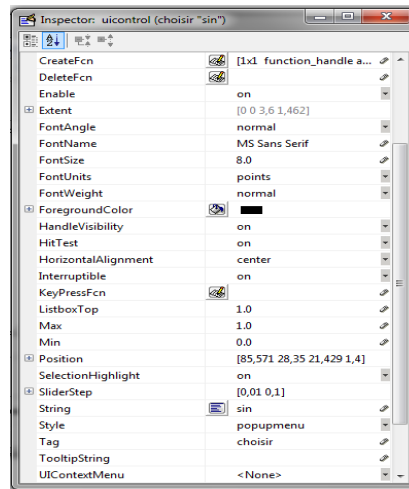


Figure III.13 : Tableau des propriétés

Pour donner un nom à la figure, double click sur l'espace blanc et changer le contenu de la case 'Name' : de 'Untitled' par 'figure 01' et valides par OK. En actionnant le bouton droit de la souris sur le bouton poussoir 'Sinus', le menu contextuel de la (figure III.14) apparaît :

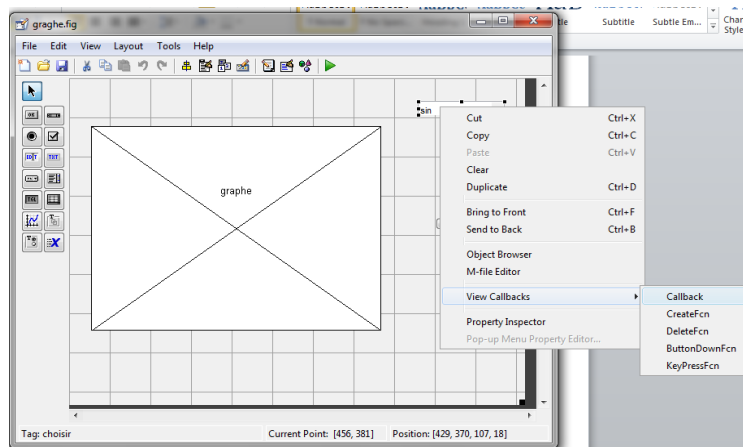


Figure III.14 : Création de callback

En cliquant sur 'view callback', guide génère automatiquement l'opération de la figure. Sauvegarde de l'interface crée deux fichiers : 'Exemple'.

Il est à noter que la sauvegarde de l'interface crée deux fichiers : 'Exemple.m' est un script décrivant en MATLAB l'interface, 'Exemple.fig' contient des données numériques, dimensions, positions, couleurs,...

On peut aussi sauver l'interface en la figure 'Exemple.fig' correspondante dans le menu 'File', 'save as' en haut et à gauche de la figure elle-même.

Dans le fichier 'Exemple.m' et dans les zones correspondante aux boutons poussoirs 'Sinus' et 'exp' taper les lignes de programmation suivantes (partie essentielle) :

```
function varargout = graphe (varargin)
% --- Executes on selection change in choisir.
function choisir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to choisir (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```



```

% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
te=get(gcbo,'value');
%te1=te(1);te2=te(2);
if te ==1
x=-pi:pi/100:pi;
y=sin(x);
plot(x,y,'r');
xlabel('x');
ylabel('y');
title('fonction sinus sur [-pi +pi]');
% set(handles.graphe, 'String', figure);
else
x=1:40;
y=exp(x);
plot(x,y);
xlabel('x');
ylabel('y');
title('fonction exp');
% set(handles.graphe, 'String', figure);
end
% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns choisir contents as cell array
%     contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from choisir

% --- Executes on button press in exit.
function exit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject  handle to exit (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
Close

```

Pour exécuter le programme, il suffit de l'appeler par son nom (Exemple). La figure correspondants sera activée (graphe). En cliquant sur 'Sinus' ou sur 'exp', nous obtenons respectivement les courbes de la figure III.15.

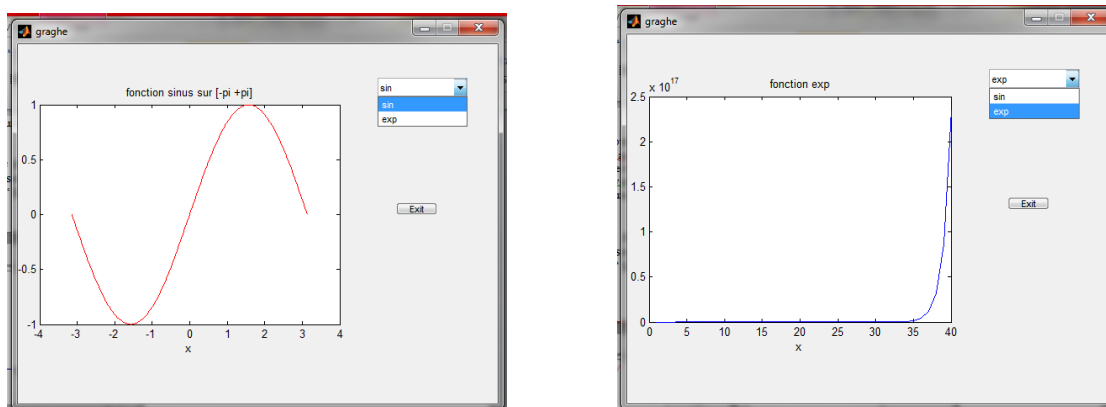


Figure III.15 : Figure activée de l'exemple 03

Exemple 04 : Tableau

Même procédure comme les exemples précédents, on peut créer la figure III.16. Ce tableau nous a permis d'afficher les données sous forme matrice, comme représenté dans la figure III.17.

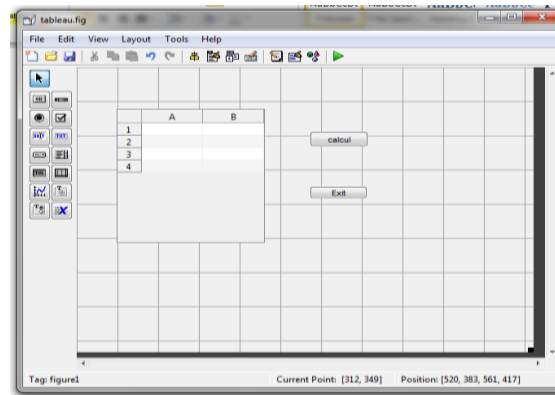


Figure III.16 : Figure base de l'exemple 04

>>tableau

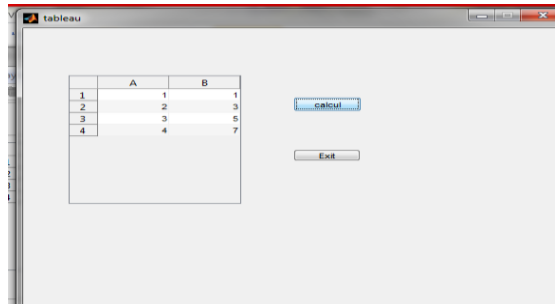


Figure III.17 : Figure activée de l'exemple 04

Le fichier 'tableau.m' est (Partie essentielle) :

```
function varargout = tableau(varargin)

% --- Executes on button press in calcul.
function calcul_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to calcul (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
A=1:4;
B=1:2:7;
table=cell(4,4);
table=cell2mat(table);
table(:,1)=A;
table(:,2)=B;
set(handles.table2,'data',table);
```

III-4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une généralité sur Matlab, en particulier le GUI. Ce dernier est simple à manipuler pour créer des interfaces interactives. C'est dans ce cadre que se propose d'une interface interactive sous MATLAB (Logiciel GUI), pour fournir des connaissances sur le gisement solaire à ciel clair et les données nécessaires concernant le capteur solaire pour optimiser leurs performances pour un site donnée. C'est l'objectif de prochain chapitre.

CHAPITRE IV

Réalisation des Interfaces de Simulation et de Calcul du Gisement solaire

Réalisation des interfaces de simulation et de calcul du gisement solaire

IV-1. Introduction

Le but principal de ce chapitre est la réalisation des interfaces graphiques pour l'estimation et l'analyse du gisement solaire à ciel clair (modèle européen) pour n'importe quel site dans le monde, une analyse basée sur des graphes du rayonnement solaire à ciel clair et des calculs de l'irradiation solaire journalière.

En plus, ces interfaces nous a permis d'optimiser des performances des capteurs solaires selon une zone et un mois donné, basée sur le modèle de l'éclairement à ciel clair, en faisant calculer l'angle d'inclinaison optimal de capteur pour la poursuite mensuelle, l'angle azimut optimal de capteur pour la poursuite discontinue à deux positions et la distance minimale entre deux capteurs successifs.

Lors de l'analyse, les interfaces prévoies le remplissage les caractéristiques géographique de la zone (latitude, longitude et altitude), le choix du jour, du mois et des angles d'inclinaison et d'azimut de capteur. Concernant la zone, les interfaces offrent la possibilité de remplir automatiquement les caractéristiques géographiques les grandes villes des sites de grand sud (Adrar, Timimoun, Aoulef, Tamanrasset, In Salah, Tindouf, Béchar, Beni Abbès, Illizi, In Amenas et Djanet), dont les caractéristiques géographiques sont données dans l'annexe. L'un des interfaces donnera la possibilité de comparer entre les différentes régions, fournir et afficher pour une journée donnée les informations suivantes : le numéro du jour dans l'année, la déclinaison du soleil en [°], les facteurs de trouble de chaque mois, l'irradiation journalière dans le jour choisie en [kWh/m^2], l'heure du lever du soleil et l'heure du coucher du soleil, durée de la journée, aussi la possibilité de faire la transformation entre les temps locaux et les temps solaires vrais.

La deuxième interface donnera les irradiations globale horaires mesurée, les parties directes et diffus horaires de l'irradiation mesurée sur un plan horizontal et cela pour la journée sélectionnée, mais il exige d'introduire les données de mesures de l'éclairement sur un plan horizontal pour le mois sélectionné. On peut également estimer l'irradiation horaire sur un plan incliné et l'irradiation récupérée dans le cas un masque sur le pyranomètre pendant le mois sélectionné.

IV-2. Première interface : Calcul du rayonnement à ciel clair et optimisation des performances des capteurs solaires

IV-2.1. Cahier des charges

Il s'agit de calculer du rayonnement solaire à ciel clair pour une région, d'optimiser des performances des capteurs solaires et de fournir des données astronomiques. On utilise un GUI pour faciliter cette tâche.

Donc les fonctions de l'interface sont :

- 1- Choisir l'étude d'une ou plusieurs régions (coordonnées géographiques).
- 2- Tracer le graphe d'éclairement à ciel clair, avec également la possibilité de choisir le jour et le mois.
- 3- Afficher les résultats d'optimisation des performances des capteurs solaires pour le mois sélectionné.
- 4- Afficher des données astronomiques de jour choisi (δ , TL, TSV, TL₁, TL_c).

Donc notre travail consiste à construire une interface qui contient les fenêtres suivantes :

- ✚ 33 objets de type 'edit'
 - 02 pour l'entrée/sortie la latitude en [°] et [minute].
 - 01 pour le côté de la latitude (non visible).
 - 02 pour l'entrée/sortie la longitude en [°] et [minute].
 - 01 pour le côté de la longitude (non visible).
 - 01 pour l'entrée/sortie l'altitude en [m].
 - 01 pour l'entrée l'albédo.
 - 01 pour le mois (non visible).
 - 01 pour le jour (non visible).
 - 01 pour l'année bissextile (non visible).
 - 01 pour la sortie le numéro du jour dans l'année.
 - 01 pour l'entrée l'angle d'inclinaison de capteur en [°].
 - 01 pour l'entrée l'angle d'azimut de capteur en [°].
 - 01 pour le décalage par rapport au temps du méridien origine (Lstm) en (non visible).
 - 01 pour la sortie l'heure du lever du soleil.
 - 01 pour la sortie l'heure du coucher du soleil.
 - 01 pour la sortie la durée du jour sélectionné.
 - 01 pour l'entrée le temps local ou le temps solaire vrai.
 - 01 pour la sortie le temps local ou le temps solaire vrai.
 - 01 pour la sortie la déclinaison du soleil en [°].
 - 01 pour la sortie l'irradiation journalière dans un jour sélectionné en [kWh/m²].
 - 01 pour la sortie d'angle d'azimut optimal en [°].
 - 01 pour la sortie l'irradiation maximale correspondant à l'angle d'azimut optimal en [kWh/m²].
 - 01 pour la sortie l'angle d'inclinaison optimal en [°].
 - 01 pour la sortie l'irradiation maximale correspondant à l'angle d'inclinaison optimal en [kWh/m²].
 - 01 pour l'entrée la hauteur de l'obstacle.
 - 01 pour la sortie la distance minimale entre deux capteurs successifs en [m].
 - 05 pour pouvoir de tracer et distinguer 3 graphes en même figure (non visible).

- + 07 objets de type 'Menu popup' :
 - 01 pour le choix ou le remplissage les données géographiques d'une région.
 - 01 pour le choix à ce que l'année bissextile ou non.
 - 01 pour sélectionner le mois.
 - 01 pour sélectionner le jour.
 - 01 pour le choix le côté de la latitude (Nord ou Sud).
 - 01 pour le choix le côté de la longitude (Est ou West).
 - 01 pour le choix le décalage par rapport au temps du méridien origine (Lstm) en [heur].
 - 01 pour lire des commentaires concernant la transformation des temps.

- + 05 objets de type 'Pushbutton' :
 - 01 pour le calcul concernant la poursuite discontinue à deux positions.
 - 01 pour le calcul concernant la poursuite mensuelle.
 - 01 pour le calcul concernant le positionnement du capteur sur le site.
 - 01 pour Exit (quitter).
 - 01 pour tracer le graphe.

- + 36 objets de type 'Text' pour définir les zones éditables et les titres.

- + 02 objets de type 'Check Box' :
 - 01 pour griller le graphe (choix oui ou non).
 - 01 pour le choix à ce tenir le graphe courant sur la même figure précédente ou renouveler de dessiner de la figure.

- + 02 objets de type 'Radio Button' :
 - 01 pour transformer le temps local vers le temps solaire.
 - 01 pour transformer le temps solaire vers le temps local.

- + 01 objet de type tableau pour afficher les facteurs de trouble.

- + 01 axe pour afficher les graphes de l'éclairement.

IV-2.2. Création et mise en œuvre

IV-2.2_1. Figure de base

Lancer 'guide' (command : >>guide) ou 'Gui' de sous-menu 'New' du menu 'file' de 'MATLAB'.

Construire la disposition graphique retenue, en fixant les textes et les noms des objets (strings et tags, les callbacks, les couleurs,...), indiquée dans la figure IV-1.

Après avoir construit la figure de base, taper dans l'espace de commande Matlab :
>>cielclair_opt

On obtient la figure IV-2.

Ce programme utilise les temps de période 1 minute, donc il exige d'introduire les temps (fichier .mat) selon la forme indiquée dans la figure IV-3. Le nom de fichier doit être comme 'Temps'.

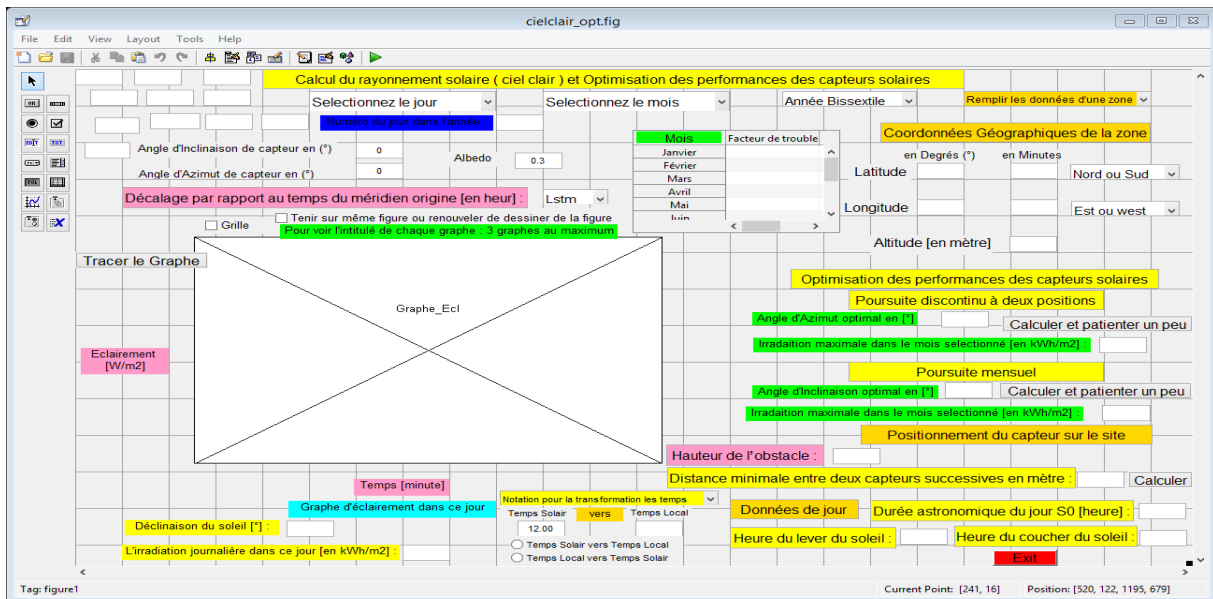


Figure IV.1 : Figure de base

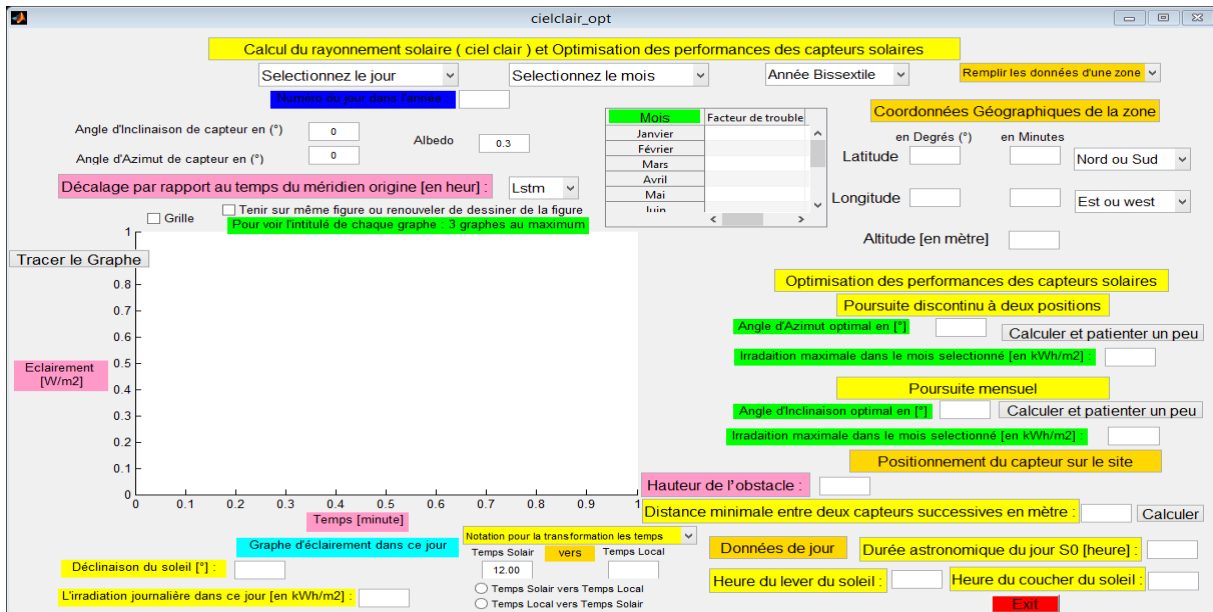


Figure IV.2 : Interface du cielclair_opt activée

L'interface représentée ci- dessus est doté des fonctionnalités suivantes :

- ❖ Initialement, on choisit le remplissage des données géographiques d'une région ou la sélection l'une des zones (les grandes villes dans le grand sud) où ses données géographiques fournies par l'interface. Ce dernier choix provoque d'afficher les données géographiques (latitude, longitude, altitude), Lstm et les facteurs de trouble.
- ❖ Si on choisit le remplissage des données géographiques d'une région, on entre les données de la région désirée et son décalage par rapport au temps du méridien origine (Lstm). Il faut réactiver l'objet de type 'Menu popup : Remplir les données d'une zone'.
- ❖ On sélectionne le mois, le jour et à ce que année bissextile ou non, et ensuite on enfonce le bouton 'Tracer le graphe'. L'action provoque le tracé d'une figure correspondante et

- l'irradiation journalière réceptionnée sur un plan horizontal dans ce jour et fournie les informations sur les données astronomiques.
- ❖ On peut entrer les valeurs des caractéristiques de capteur (angle d'inclinaison en [°], angle d'azimut en [°]) et l'albédo selon le type de terrain, et ensuite on enfonce le bouton 'Tracer le graphe'. L'action provoque le tracé d'une figure correspondante et l'irradiation journalière réceptionnée sur un plan incliné.
 - ❖ En couchant le 'grille' et/ou 'Tenir sur même figure ou renouveler de dessiner de la figure', nous avons la possibilité de griller ou de désactiver le grillage de la figure et/ou tracer les différents graphes dans la même figures.
 - ❖ Séparément et pour l'optimisation des performances des capteurs solaires (Poursuite discontinue à deux positions, Poursuite mensuelle), on enfonce respectivement les boutons 'Calculer et patienter un peu' correspondante. L'action sur ces boutons provoque d'afficher l'angle optimal et l'irradiation maximale dans le mois sélectionné.
 - ❖ Pour un meilleur positionnement du capteur sur le site, on entre la valeur de la hauteur de l'obstacle, puis on enfonce le bouton 'Calculer'. Cette action provoque d'afficher la distance minimale entre deux capteur.
 - ❖ En cochant le 'radio bouton' nommé 'Temps Solaire vers Temps Local', on fait apparaître une phrase comme le nom du 'radio bouton' choisie. On entre le temps solaire sous forme 12.00, par exemple 12.21 : désigne 12^H:21), on obtient le temps local correspondant.
 - ❖ En cochant le 'radio bouton' nommé 'Temps Solaire vers Temps Local', on fait apparaître une phrase comme le nom du 'radio bouton' choisie. On entre le temps local, on obtient le temps solaire vrai correspondant. On doit s'assurer qu'un seul bouton est actif à la fois.
 - ❖ En fonce le bouton 'Exit' provoque la fermeture de l'interface.

00 ^H :00	0.00
	0.01
	0.02
	0.03
	0.04
00 ^H :01	.
	.
	.
	.
	.
	.
	.
	.
	.
	.
12 ^H :23	12.23
23 ^H :59	23.59

Figure IV.3 : Format de fichier .mat de temps (dimensions (60×24) lignes × 1 Colonne)

IV-2.2_2. Scripte de l'interface

Le programme suivant donne les réactions de l'interface pour seulement pour le bouton 'Tracer le graphe'.

```
% --- Executes on button press in Tracer.
function Tracer_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Tracer (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
Ind=str2num(get(handles.Jour1, 'String')); Nmois=str2num(get(handles.Mois1, 'String'));

Lat1= str2num(get(handles.Lat1, 'String')); Lat2= str2num(get(handles.Lat2, 'String')); Lati=Lat1+Lat2/60; Lati=Lati*pi/180;
Lat32= str2num(get(handles.Lat31, 'String')); Lati=Lat32*Lati;

Long1= str2num(get(handles.Long1, 'String')); Long2= str2num(get(handles.Long2, 'String')); Long=Long1+Long2/60;
Long32= str2num(get(handles.Long31, 'String')); Long=Long32*Long;

Lstm=str2num(get(handles.Lstm1, 'String')); Altit=str2num(get(handles.Altit, 'String')); tkab= str2num(get(handles.Akab1, 'String'));
nzone2= str2num(get(handles.nzone1, 'String')); LGt2= str2num(get(handles.LGt1, 'String'));
LG12= str2num(get(handles.LG21, 'String')); LG13= str2num(get(handles.LG31, 'String'));
Beta=str2num(get(handles.Beta, 'String'));Beta=Beta*pi/180; Zen=str2num(get(handles.Zen, 'String'));Zen=Zen;
Albed=str2num(get(handles.Albed, 'String'));Albed=Albed;

load('Temps'); TL=Temps;L=length(TL(:,1));
TU1=TL-Lstm;dTL=TL-floor(TL); TV=Long/15*60;TVV=dTL*100+TV;
for NmoisTr=1:12
IndTr=29;
if NmoisTr==1
jjTr=IndTr;
elseif NmoisTr==2
jjTr=31+IndTr;
elseif NmoisTr==3
jjTr=31+29+IndTr;
elseif NmoisTr==4
jjTr=31+29+31+IndTr;
elseif NmoisTr==5
jjTr=31+29+31+30+IndTr;
elseif NmoisTr==6
jjTr=31+29+31+30+31+IndTr;
elseif NmoisTr==7
jjTr=31+29+31+30+31+30+IndTr;
elseif NmoisTr==8
jjTr=31+29+31+30+31+30+31+IndTr;
elseif NmoisTr==9
jjTr=31+29+31+30+31+30+31+31+IndTr;
elseif NmoisTr==10
jjTr=31+29+31+30+31+30+31+31+30+IndTr;
elseif NmoisTr==11
jjTr=31+29+31+30+31+30+31+31+30+31+IndTr;
else
jjTr=31+29+31+30+31+30+31+31+30+31+30+IndTr;
end

delttTr=23.45*pi/180*sin(360*(284+jjTr)/365*pi/180);
if Beta==0
HauteursolairTr=90-Lati*180/pi+delttTr*180/pi-60;
else
HauteursolairTr=90-Lati*180/pi+delttTr*180/pi-40;
end
Ahe=sin(360*(jjTr-121)/365*pi/180);
T0=(2.4-0.9*sin(Lati))+0.1*(2+sin(Lati))*Ahe-0.45*Altit/1000-(1.22+0.14*Ahe)*(1-sin(HauteursolairTr*pi/180));
T1=(0.89)^(Altit/1000); T2=(0.9+0.4*Ahe)*(0.63)^(Altit/1000); Tr(NmoisTr)=T0+T1+T2;
end
if Nmois==1
jj=Ind;Tl=Tr(1);
elseif Nmois==2
jj=31+Ind;Tl=Tr(2);
elseif Nmois==3
jj=31+28+Ind;Tl=Tr(3);
```

```

if tkab==1
    jj=31+29+Ind;
end
elseif Nmois==4
jj=31+28+31+Ind;Tl=Tr(4);
if tkab==1
    jj=31+29+31+Ind;
end
elseif Nmois==5
jj=31+28+31+30+Ind;Tl=Tr(5);
if tkab==1
    jj=31+29+31+30+Ind;
end
elseif Nmois==6
jj=31+28+31+30+31+Ind;Tl=Tr(6);
if tkab==1
    jj=31+29+31+30+31+Ind;
end
elseif Nmois==7
jj=31+28+31+30+31+30+Ind;Tl=Tr(7);
if tkab==1
    jj=31+29+31+30+31+30+Ind;
end
elseif Nmois==8
jj=31+28+31+30+31+30+31+Ind;Tl=Tr(8);
if tkab==1
    jj=31+29+31+30+31+30+31+Ind;
end
elseif Nmois==9
jj=31+28+31+30+31+30+31+31+Ind;Tl=Tr(9);
if tkab==1
    jj=31+29+31+30+31+30+31+31+Ind;
end
elseif Nmois==10
jj=31+28+31+30+31+30+31+31+30+Ind;Tl=Tr(10);
if tkab==1
    jj=31+29+31+30+31+30+31+31+30+Ind;
end
elseif Nmois==11
jj=31+28+31+30+31+30+31+31+30+31+Ind;Tl=Tr(11);
if tkab==1
    jj=31+29+31+30+31+30+31+31+30+31+Ind;
end
else
    jj=31+28+31+30+31+30+31+31+30+31+30+Ind;Tl=Tr(12);
    if tkab==1
        jj=31+29+31+30+31+30+31+31+30+31+30+Ind;
    end
end
ET=(9.9*sin(2*pi/180*(0.986*jj+100))-7.7*sin(pi/180*(0.986*jj-2)));
for i=1:L
t(i)=TL(i);
    if TU1(i)>=23.60
        TU(i)=floor(TU1(i))-24+dTL(i);
    elseif TU1(i)<0
        TU(i)=24+floor(TU1(i))+dTL(i);
    else
        TU(i)=TU1(i);
    end
if (TVV(i)>=0 & TVV(i)<60)
    TSM(i)=floor(TU(i))+TVV(i)/100;
    elseif TVV(i)>=60
        TV1(i)=floor(TVV(i)/60);dTV(i)=(TVV(i)-TV1(i)*60); TSM1(i)=floor(TU(i))+TV1(i);
        if TSM1(i)>=23.60
            TSM(i)=floor(TSM1(i))-24+dTV(i)/100;
        else
            TSM(i)=TSM1(i)+dTV(i)/100;
        end
    else
        TV1(i)=floor(TVV(i)/60);dTV(i)=60-abs(TVV(i)-(TV1(i)+1)*60); TSM1(i)=floor(TU(i))+TV1(i);
        if TSM1(i)<0

```

```

TSM(i)=24+floor(TSM1(i))+dTV(i)/100;
else
TSM(i)=TSM1(i)+dTV(i)/100;
end
end
dTL1(i)=(TSM(i)-floor(TSM(i))); TVV1(i)=dTL1(i)*100+ET;
if (TVV1(i)>=0 & TVV1(i)<60)
TSV(i)=floor(TSM(i))+TVV1(i)/100;
elseif TVV1(i)>=60
TV11(i)=floor(TVV1(i)/60);dTV1(i)=(TVV1(i)-TV11(i)*60); LST1(i)=floor(TSM(i))+TV11(i);
if LST1(i)>=23.60
TSV(i)=floor(LST1(i))-24+dTV1(i)/100;
else
TSV(i)=LST1(i)+dTV1(i)/100;
end
else
TV11(i)=floor(TVV1(i)/60);dTV1(i)=60-abs(TVV1(i)-(TV11(i)+1)*60); LST1(i)=floor(TSM(i))+TV11(i);
if LST1(i)<0
TSV(i)=24+floor(LST1(i))+dTV1(i)/100;
else
TSV(i)=LST1(i)+dTV1(i)/100;
end
end
TesteLST(i)=(TSV(i)-floor(TSV(i)))*100;TesteLST1(i)=floor(TesteLST(i));TesteLST2(i)=TesteLST(i)-TesteLST1(i);
if TesteLST2(i)>0; TesteLST1(i)=(TesteLST1(i)+1);end;

if (TesteLST1(i)>=0 & TesteLST1(i)<60)
TSV(i)=floor(TSV(i))+TesteLST1(i)/100;
elseif TesteLST1(i)>=60
TV111(i)=floor(TesteLST1(i)/60);dTV11(i)=(TesteLST1(i)-TV111(i)*60); TSV(i)=floor(TSV(i))+TV111(i);
if TSV(i)>=23.60
TSV(i)=floor(TSV(i))-24+dTV11(i)/100;
else
TSV(i)=TSV(i)+dTV11(i)/100;
end
end
if TSV(i)<12
LST1(i)=12-TSV(i);fl2(i)=floor(LST1(i));dfl2(i)=(60-(TSV(i)-floor(TSV(i)))*100);if dfl2(i)>=60; dfl2(i)=0;end;
dfl2(i)=dfl2(i)/60;LST2(i)=fl2(i)+dfl2(i); w(i)=-15*pi/180*(LST2(i));
else
LST1(i)=TSV(i)-12;fl2(i)=floor(LST1(i));dfl2(i)=(LST1(i)-fl2(i))*100/60;LST2(i)=fl2(i)+dfl2(i);
w(i)=15*pi/180*(LST2(i));
end
deltt(i)=23.45*pi/180*sin(360*(284+jj)/365*pi/180); deltt=23.45*sin(360*(284+jj)/365*pi/180);
sinHS(i)=sin(Lati)*sin(deltt(i))+cos(Lati)*cos(deltt(i))*cos(w(i)); Hauteursolaire(i)=asin(sinHS(i))*180/pi;
G0(i)=1367*(1+0.03344*cos(2*pi*jj/365.25-0.048869));
if Hauteursolaire(i)<0
Idirect(i)=0; Diffush(i)=0; Diffussh(i)=0;
else
HSref(i)=asin(sinHS(i))+0.061359*(0.1594+1.123*asin(sinHS(i))+0.065656*(asin(sinHS(i)))^2)/(1+28.9344*asin(sinHS(i))+277.3971*(asin(
sinHS(i)))^2);
m(i)=exp(-Altit/8434.5)/(sin(HSref(i))+0.50572*(HSref(i)+6.07995)^(-1.6364));
if m(i)<=20
deltar(i)=1/(6.6296+1.7513*m(i)-0.1202*m(i)^2+0.0065*m(i)^3-0.00013*m(i)^4);
else
deltar(i)=1/(10.4+0.718*m(i));
end
Idirect(i)=G0(i)*exp(-0.8662*Ti*m(i)*deltar(i)); Tn=-0.015843+0.030543*Ti+0.0003797*Ti^2;
A1p=0.26463-0.061581*Ti+.0031408*Ti^2; A1pp=A1p*Ti;
if A1pp<0.0022
A1=0.0022/Tn;
else
A1=A1p;
end
A2=2.04020+0.018945*Ti-0.011161*Ti^2;A3=-1.3025+0.039231*Ti+0.0085079*Ti^2;
F0(i)=A1+A2*sinHS(i)+A3*(sinHS(i))^2; Diffush(i)=G0(i)*Tn*F0(i);
rg(i)=(1-cos(Beta))/2; Diffussh(i)=Albed*rg(i)*(Idirect(i)*sinHS(i)+Diffush(i));
end
if TSV(i)<=12
zenp=-Zen;
else

```

```

zenp=Zen;
end
sinLatp(i)=-cos(Lati)*sin(Beta)*cos(zenp*pi/180)+sin(Lati)*cos(Beta);cosLatp(i)=cos(asin(sinLatp(i)));
C31p(i)=cosLatp(i)*cos(deltt(i));C33p(i)=sinLatp(i)*sin(deltt(i));
tgLongp(i)=-(sin(Beta)*sin(zenp*pi/180))/(sin(Lati)*sin(Beta)*cos(zenp*pi/180)+cos(Lati)*cos(Beta));
Longp(i)=acos(sqrt(1/((tgLongp(i))^2+1)));
if TSV(i)<=12
    Longp(i)=-Longp(i);
end
sindeltexp(i)=C31p(i)*cos(w(i)-Longp(i))+C33p(i);
if sindeltexp(i)<0
    sindeltexp(i)=0;
end
Idirectp(i)=Idirect(i)*sindeltexp(i);
Kb(i)=Idirect(i)/G0(i);ri(i)=(1+cos(Beta))/2;NN(i)=0.00263-0.712*Kb(i)-0.6883*(Kb(i))^2;FF(i)=ri(i)+(sin(Beta)-Beta*cos(Beta)-
pi*(sin(Beta/2))^2)*NN(i);
if asin(sinHS(i))>=0.1
    Diffusp(i)=Diffussh(i)*(FF(i)*(1-Kb(i))+Kb(i)*sindeltexp(i)/sinHS(i));
else
    C11(i)=sin(Lati)*cos(deltt(i)); C13(i)=-cos(Lati)*sin(deltt(i));
C22(i)=cos(deltt(i));C31(i)=cos(Lati)*cos(deltt(i));C33(i)=sin(Lati)*sin(deltt(i));
A0(i)=acos((C11(i)*cos(w(i))+C13(i))/((C22(i)*sin(w(i)))^2+(C11(i)*cos(w(i))+C13(i))^2)^(1/2)));
if TSV(i)<12
    A0(i)=-A0(i);
else
    A0(i)=A0(i);
end
Ann(i)=zenp*pi/180; ALNe(i)=A0(i)-Ann(i);
if (ALNe(i)<=pi & ALNe(i)>=-pi)
    ALN(i)=ALNe(i);
elseif ALNe(i)>pi
    ALN(i)=ALNe(i)-2*pi;
elseif ALNe(i)<-pi
    ALN(i)=ALNe(i)+2*pi;
end
Diffusp(i)=Diffussh(i)*(FF(i)*(1-Kb(i))+Kb(i)*sin(Beta)*cos(ALN(i))/(0.1-0.008*asin(sinHS(i))));
end
Globalp(i)=Idirectp(i)+Diffusp(i)+Diffussh(i);
end
etafhold2=str2num(get(handles.etafhold1, 'String'));
if nzone2==1
    plot(t,Globalp, 'b', 'MarkerSize', 05)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt2+1;
        if LGt==2
            LG1='Région choisie';
        elseif LGt==3
            LG2='Région choisie';
        end
    else
        LG=['Région choisie'];LGt=1;
    end
elseif nzone2==2
    plot(t,Globalp, 'c', 'MarkerSize', 05)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt2+1;
        if LGt==2
            LG1='Adrar';
        elseif LGt==3
            LG2='Adrar';
        end
    else
        LG=['Adrar'];LGt=1;
    end
elseif nzone2==3
    plot(t,Globalp, 'g', 'MarkerSize', 05)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt2+1;
        if LGt==2
            LG1='Timimoun';
        elseif LGt==3

```

```

    LG2='Timimoun';
end
else
    LG=['Timimoun']; LGt=1;
end
elseif nzone2==4
    plot(t,Globalp,'K','MarkerSize',05)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt+1;
    if LGt==2
        LG1='Aoulef';
    elseif LGt==3
        LG2='Aoulef';
    end
    else
        LG=['Aoulef'];LGt=1;
    end
elseif nzone2==5
    plot(t,Globalp,'R','MarkerSize',05)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt+1;
    if LGt==2
        LG1='Tamanrasset';
    elseif LGt==3
        LG2='Tamanrasset';
    end
    else
        LG=['Tamanrasset'];LGt=1;
    end
elseif nzone2==6
    plot(t,Globalp,'Y','MarkerSize',05)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt+1;
    if LGt==2
        LG1='In Salah';
    elseif LGt==3
        LG2='In Salah';
    end
    else
        LG=['In Salah'];LGt=1;
    end
elseif nzone2==7
    plot(t,Globalp,'+Y','MarkerSize',05)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt+1;
    if LGt==2
        LG1='Tindouf';
    elseif LGt==3
        LG2='Tindouf';
    end
    else
        LG=['Tindouf'];LGt=1;
    end
elseif nzone2==8
    plot(t,Globalp,'+R','MarkerSize',02)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt+1;
    if LGt==2
        LG1='Béchar';
    elseif LGt==3
        LG2='Béchar';
    end
    else
        LG=['Béchar'];LGt=1;
    end
elseif nzone2==9
    plot(t,Globalp,'+M','MarkerSize',02)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt+1;
    if LGt==2
        LG1='Beni Abbès';

```

```

elseif LGt==3
    LG2='Beni Abbès';
end
else
    LG=['Beni Abbès'];LGt=1;
end
elseif nzone2==10
    plot(t,Globalp,'+K','MarkerSize',02)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt+1;
    if LGt==2
        LG1='Illizi';
    elseif LGt==3
        LG2='Illizi';
    end
    else
        LG=['Illizi'];LGt=1;
    end
    elseif nzone2==11
        plot(t,Globalp,'+B','MarkerSize',02)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt+1;
    if LGt==2
        LG1='In Amenas';
    elseif LGt==3
        LG2='In Amenas';
    end
    else
        LG=['In Amenas'];LGt=1;
    end
else
    plot(t,Globalp,'+G','MarkerSize',02)
    if etafhold2==1
        LGt=LGt+1;
    if LGt==2
        LG1='Djanet';
    elseif LGt==3
        LG2='Djanet';
    end
    else
        LG=['Djanet'];LGt=1;
    end
end
if LGt==1
    legend(LG); set(handles.LG21, 'String', num2str(nzone2));
elseif LGt==2
    if LG12==1 LG121='Région choisie';
    elseif LG12==2 LG121='Adrar';
    elseif LG12==3 LG121='Timimoun';
    elseif LG12==4 LG121='Aoulef';
    elseif LG12==5 LG121='Tamanrasset';
    elseif LG12==6 LG121='In Salah';
    elseif LG12==7 LG121='Tindouf';
    elseif LG12==8 LG121='Béchar';
    elseif LG12==9 LG121='Beni Abbès';
    elseif LG12==10 LG121='Illizi';
    elseif LG12==11 LG121='In Amenas';
    elseif LG12==12 LG121='Djanet';

    end
    legend(LG121,LG1); set(handles.LG31, 'String', num2str(nzone2));
elseif LGt==3
    if LG12==1 LG121='Région choisie';
    elseif LG12==2 LG121='Adrar';
    elseif LG12==3 LG121='Timimoun';
    elseif LG12==4 LG121='Aoulef';
    elseif LG12==5 LG121='Tamanrasset';
    elseif LG12==6 LG121='In Salah';
    elseif LG12==7 LG121='Tindouf';
    elseif LG12==8 LG121='Béchar';
    elseif LG12==9 LG121='Beni Abbès';
    elseif LG12==10 LG121='Illizi';

```

```

        elseif LG12==11 LG121='In Amenas';
            elseif LG12==12 LG121='Djanet';
    end
    if LG13==1 LG131='Région choisie';
    elseif LG13==2 LG131='Adrar';
    elseif LG13==3 LG131='Timimoun';
    elseif LG13==4 LG131='Aoulef';
        elseif LG13==5 LG131='Tamanrasset';
        elseif LG13==6 LG131='In Salah';
            elseif LG13==7 LG131='Tindouf';
            elseif LG13==8 LG131='Béchar';
                elseif LG13==9 LG131='Beni Abbès';
                elseif LG13==10 LG131='Illizi';
                    elseif LG13==11 LG131='In Amenas';
                    elseif LG13==12 LG131='Djanet';
    end
    legend(LG121,LG131,LG2);
end
set(handles.LGt1, 'String', num2str(LGt));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
S=0;
for ii=1:L
    S=S+Globalp(ii);
end
Irr=S/60/1000;
set(handles.NJA, 'String', num2str(jj)); set(handles.decl, 'String', num2str(delta)); set(handles.Irraj, 'String', num2str(Irr));
delta=23.45*pi/180*sin(360*(284+jj)/365*pi/180); cosHSlc=sin(Lati)/cos(Lati)*sin(delta)/cos(delta);HSlc=acos(cosHSlc)*180/pi+1.2;
TSV11=floor(HSlc/15);TSV12=(HSlc/15-floor(HSlc/15))*60/100;TSV13=TSV11+TSV12;
TSV11=-(TSV13-12);fTSV1=floor(TSV1);dTTSV1=(60-(TSV13-floor(TSV13))*100);if dTTSV1>=60; dTTSV1=0;end;
TSV1=fTSV1+dTTSV1/100; TSVc=12+TSV13;
ET=(9.9*sin(2*pi/180*(0.986*jj+100))-7.7*sin(pi/180*(0.986*jj-2))); dTTSV1=(TSV1-floor(TSV1));dTTSVc=(TSVc-floor(TSVc));
TVV1=dTTSV1*100-ET;TVVc=dTTSVc*100-ET;
if (TVV1>=0 & TVV1<60)
    TSM1=floor(TSV1)+TVV1/100;
elseif TVV1>=60
    TV11=floor(TVV1/60);dTTV1=(TVV1-TV11*60); TSM11=floor(TSV1)+TV11;
    if TSM11>=23.60
        TSM1=floor(TSM11)-24+dTV1/100;
    else
        TSM1=TSM11+dTV1/100;
    end
else
    TV11=floor(TVV1/60);dTTV1=60-abs(TVV1-(TV11+1)*60); TSM11=floor(TSV1)+TV11;
    if TSM11<0
        TSM1=24+floor(TSM11)+dTV1/100;
    else
        TSM1=TSM11+dTV1/100;
    end
end
dTL1=(TSM1-floor(TSM1)); TV1=Long/15*60;TVV1=dTL1*100-TV1;
if (TVV1>=0 & TVV1<60)
    TUI=floor(TSM1)+TVV1/100;
elseif TVV1>=60
    TV11=floor(TVV1/60);dTTV1=(TVV1-TV11*60); TUI1=floor(TSM1)+TV11;
    if TUI1>=23.60
        TUI=floor(TUI1)-24+dTV1/100;
    else
        TUI=TUI1+dTV1/100;
    end
else
    TV11=floor(TVV1/60);dTTV1=60-abs(TVV1-(TV11+1)*60); TUI1=floor(TSM1)+TV11;
    if TUI1<0
        TUI=24+floor(TUI1)+dTV1/100;
    else
        TUI=TUI1+dTV1/100;
    end
end
TesteTUI=(TUI-floor(TUI))*100;TesteTUI1=floor(TesteTUI);TesteTUI2=TesteTUI-TesteTUI1;
if TesteTUI2>0; TesteTUI1=(TesteTUI1);end;
if (TesteTUI1>=0 & TesteTUI1<60)

```

```

    TUI=floor(TUI)+TesteTUI/100;
elseif TesteTUI>=60
    TVI11=floor(TesteTUI/60);dTVI11=(TesteTUI-TVI11*60); TUI=floor(TUI)+TVI11;
    if TUI>=23.60
    TUI=floor(TUI)-24+dTVI11/100;
    else
    TUI=TUI+dTVI11/100;
    end
end
TLI1=TUI+Lstm;dTUI=TUI-floor(TUI);
if TLI1>=23.60
    TLI=floor(TLI1)-24+dTUI;
elseif TLI1<0
    TLI=24+floor(TLI1)+dTUI;
else
    TLI=TLI1;
end
if (TVVc>=0 & TVVc<60)
    TSMc=floor(TSVc)+TVVc/100;
elseif TVVc>=60
    TVc1=floor(TVVc/60);dTVc=(TVVc-TVc1*60); TSMc1=floor(TSVc)+TVc1;
    if TSMc1>=23.60
    TSMc=floor(TSMc1)-24+dTVc/100;
    else
    TSMc=TSMc1+dTVc/100;
    end
else
    TVc1=floor(TVVc/60);dTVc=60-abs(TVVc-(TVc1+1)*60); TSMc1=floor(TSVc)+TVc1;
    if TSMc1<0
    TSMc=24+floor(TSMc1)+dTVc/100;
    else
    TSMc=TSMc1+dTVc/100;
    end
end
dTLC=(TSMc-floor(TSMc)); TVc=Long/15*60;TVVc=dTLC*100-TVc;
if (TVVc>=0 & TVVc<60)
    TUC=floor(TSMc)+TVVc/100;
elseif TVVc>=60
    TVc1=floor(TVVc/60);dTVc=(TVVc-TVc1*60);
    TUC1=floor(TSMc)+TVc1;
    if TUC1>=23.60
    TUC=floor(TUC1)-24+dTVc/100;
    else
    TUC=TUC1+dTVc/100;
    end
else
    TVc1=floor(TVVc/60);dTVc=60-abs(TVVc-(TVc1+1)*60);
    TUC1=floor(TSMc)+TVc1;
    if TUC1<0
    TUC=24+floor(TUC1)+dTVc/100;
    else
    TUC=TUC1+dTVc/100;
    end
end
TesteTUC=(TUC-floor(TUC))*100;TesteTUC1=floor(TesteTUC);TesteTUC2=TesteTUC-TesteTUC1;
if TesteTUC2>0; TesteTUC1=(TesteTUC1);end;
if (TesteTUC1>=0 & TesteTUC1<60)
    TUC=floor(TUC)+TesteTUC1/100;
elseif TesteTUC1>=60
    TVc11=floor(TesteTUC1/60);dTVc11=(TesteTUC1-TVc11*60);
    TUC=floor(TUC)+TVc11;
    if TUC>=23.60
    TUC=floor(TUC)-24+dTVc11/100;
    else
    TUC=TUC+dTVc11/100;
    end
end
TLc1=TUC+Lstm;dTUC=TUC-floor(TUC);
if TLc1>=23.60
    TLco=floor(TLc1)-24+dTUC;

```



```

elseif TLc1<0
    TLco=24+floor(TLc1)+dTUc;
else
    TLco=TLc1;
end
set(handles.TLI, 'String', num2str(TLI)); set(handles.TLco, 'String', num2str(TLco));
S01=2*floor(TSVc-12);S02=2*(TSVc-floor(TSVc))*100;
if (S02>=0 & S02<60)
    S0=S01+S02/100;
elseif S02>=60
    Tins=floor(S02/60);dTins=(S02-Tins*60);
    S0=S01+Tins+dTins/100;
end
set(handles.S0, 'String', num2str(S0));
    
```

IV-2.2_3. Exemple

Voici un exemple pratique du fonctionnement de l’interface.

Pour la zone d’Adrar, et selon les étapes citées précédemment, la figure IV-4 représente les données d’entrées et les résultats correspondants.

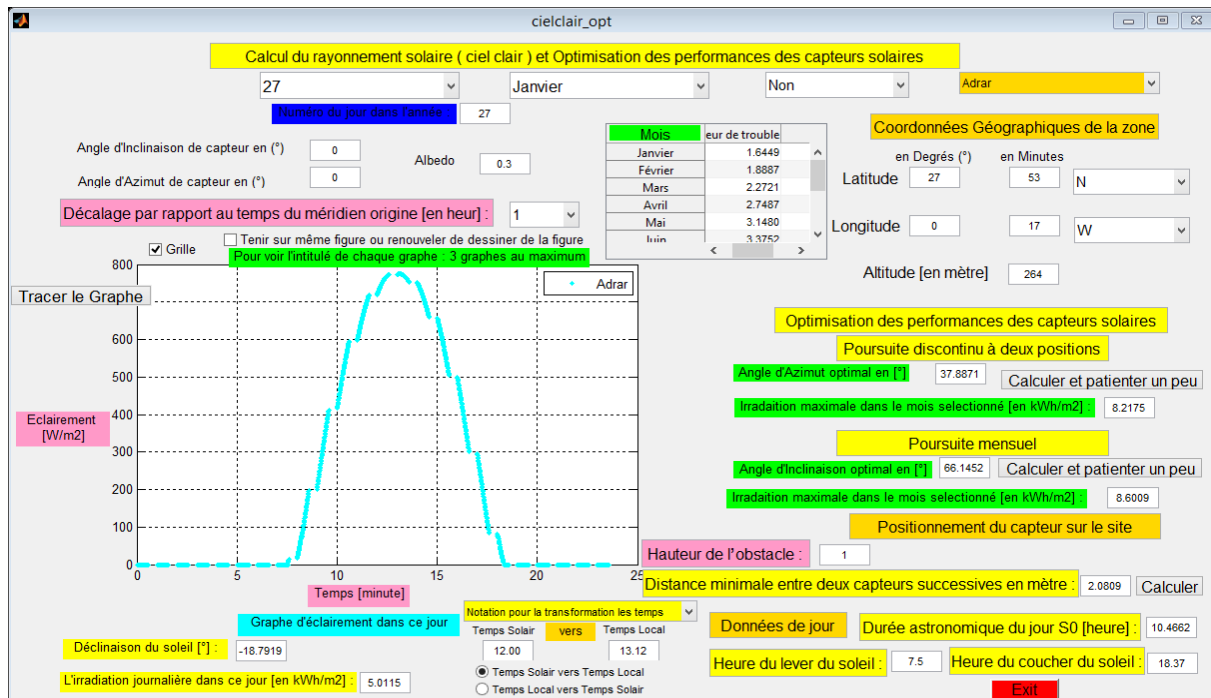


Figure IV.4 : Exemple 1

On remarque que les angles d’inclinaison et d’azimut optimaux et les valeurs de facteurs de trouble T_{LK} sont celles indiqués dans les tableaux II-1, II-2 et I-3 respectivement. L’irradiation journalière incidente sur le plan horizontal et pour le jour 27 Janvier est de $5.0115 kWh/m^2$. Le midi est à $13^H:12$ et la distance minimale entre deux capteurs solaires successifs est 2.08m si la hauteur de l’obstacle est 1m.

Pour un plan orienté plein sud et incliné par l’angle de latitude et pour le même jour et le même mois sélectionné (Janvier). Les résultats sont montrés dans la figure IV-5. L’irradiation journalière incidente sur le plan est de $7.2194 kWh/m^2$. Le gain qui résulte en optant pour cette configuration est de l’ordre de 44.05%.

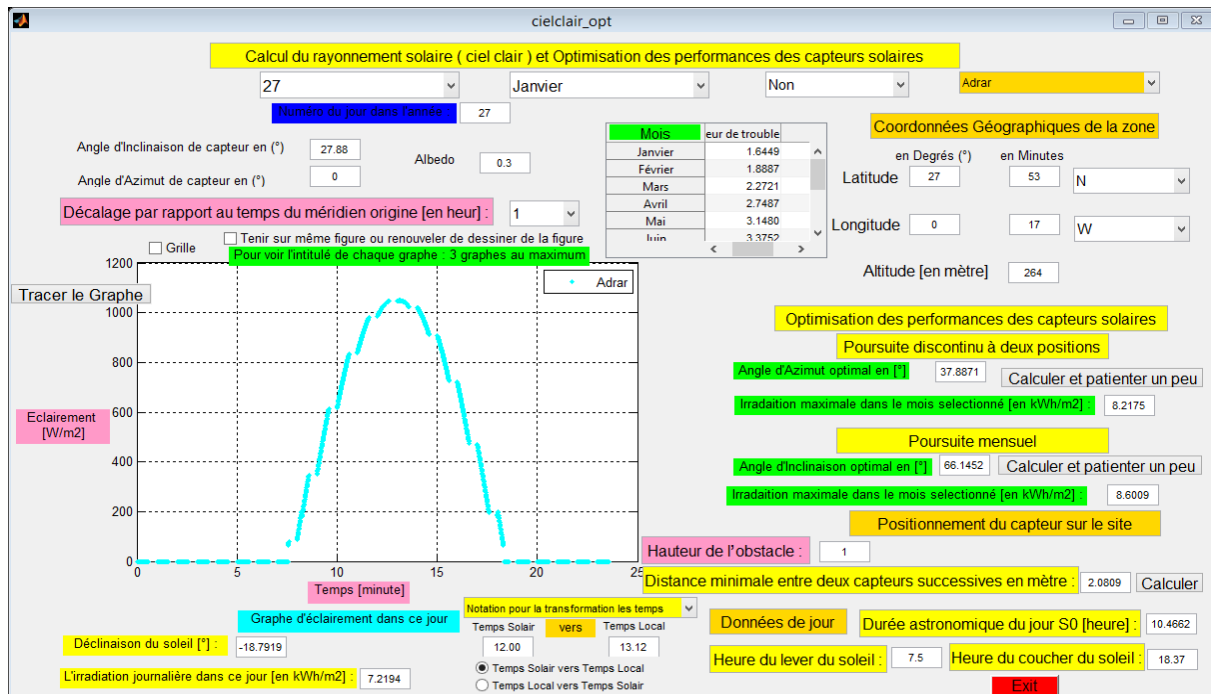


Figure IV.5 : Exemple 2

Pour un plan orienté plein sud et incliné par l'angle optimal ($\beta=66.1452^\circ$) correspondant au mois sélectionné (Janvier). Pour le même jour, les résultats sont montrés dans la figure IV-6. L'irradiation journalière incidente sur le plan est de 8.5899 kWh/m^2 . Le gain qui résulte (par rapport l'irradiation obtenu dans la figure IV-4) en optant pour la configuration exploitant le plan pivotant est de l'ordre de 71.40%. Le gain qui résulte (par rapport l'irradiation obtenu dans la figure IV-5) en optant pour la configuration exploitant le plan pivotant est de l'ordre de 18.98%.

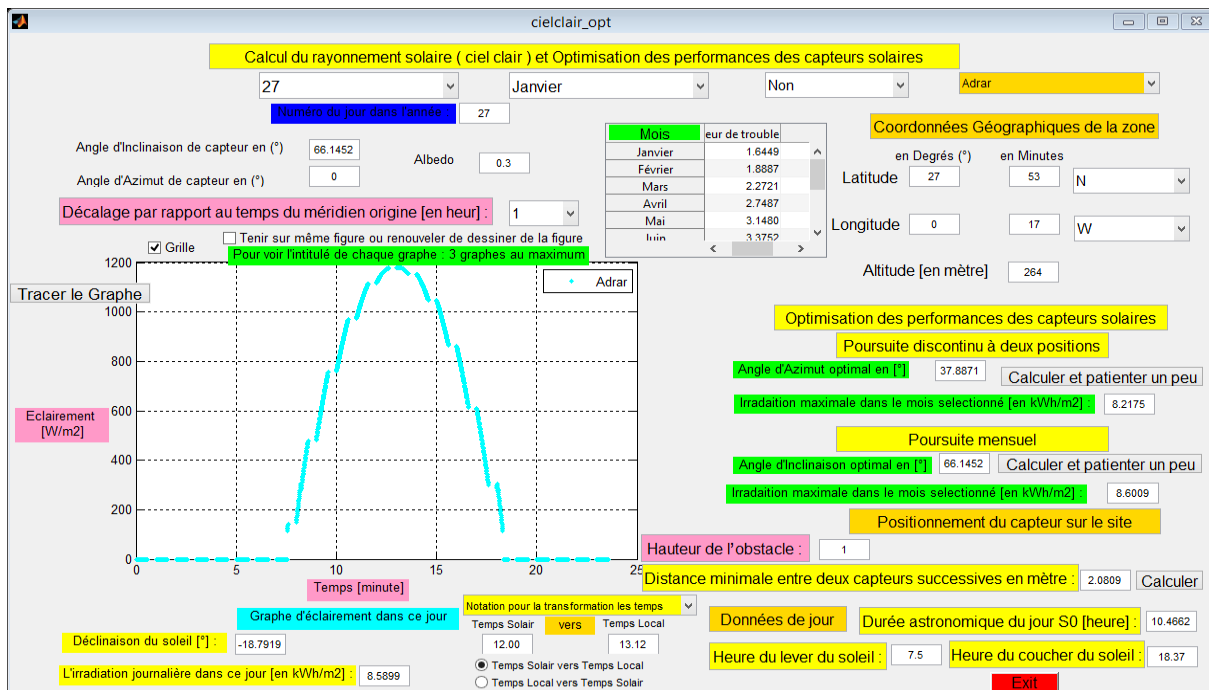


Figure IV.6 : Exemple 3

Pour un plan incliné par l'angle de latitude et pivotant entre la position Est ($\gamma=-38^\circ$) et Ouest ($\gamma=38^\circ$), l'angle optimal correspondant au mois sélectionné (Janvier). Pour le même jour, les résultats sont montrés dans la figure IV-7. L'irradiation journalière incidente sur le plan est de 8.0845 kWh/m^2 . Le gain qui résulte (par apport l'irradiation obtenu dans la figure IV-5) en optant pour la configuration exploitant le plan pivotant est de l'ordre de 11.98%.

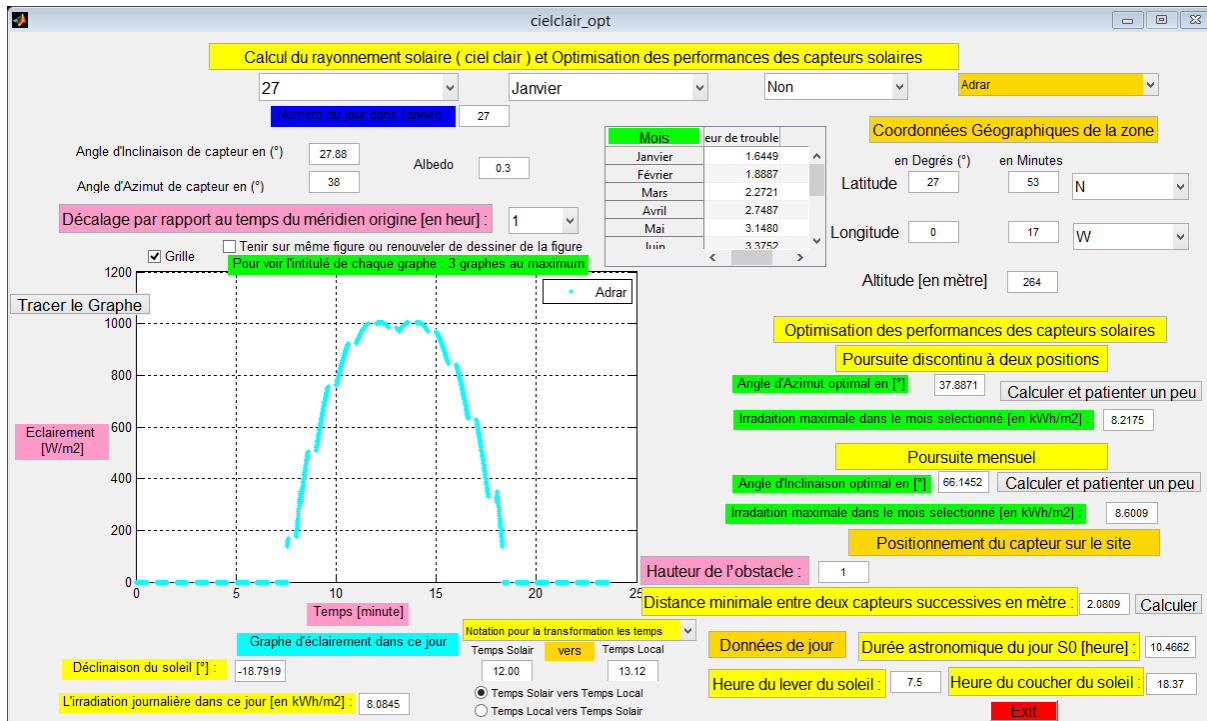


Figure IV.7 : Exemple 4

Même procédure que l'exemple précédent, sauf on a changé le mois sélectionné (les figures IV-8 à IV-10). Le midi correspondant le jour 03 Juin est à 12^H:58 et la distance minimale entre deux capteurs solaires successifs est même que précédente (2.08m), parce que le calcul de la distance minimale indépendante que la région.

L'irradiation journalière incidente sur le plan orienté plein sud et incliné par l'angle de latitude et pour le jour 03 Juin est de 6.2532 kWh/m^2 . Pour un plan orienté plein sud et incliné par l'angle optimal ($\beta=0^\circ$) correspondant au mois sélectionné (Juin). Pour le même jour, les résultats sont montrés dans la figure IV-9. L'irradiation journalière incidente sur le plan est de 7.3252 kWh/m^2 . Le gain qui résulte en optant pour la configuration exploitant le plan pivotant est de l'ordre de 17.14%. Pour un plan pivotant entre la position Est ($\gamma=-90^\circ$) et Ouest ($\gamma=90^\circ$), l'angle optimal correspondant au mois sélectionné. L'irradiation journalière incidente sur le plan pour le même jour est de 9.0699 kWh/m^2 . Le gain qui résulte en optant pour la configuration exploitant le plan pivotant est de l'ordre de 45.044%.

Donc, pour la poursuite discontinue à deux positions et dans la période estivale et pour une journée à ciel complètement dégagé (aucun passage nuageux) ; le gain énergétique sera alors plus grand. En effet, du lever au coucher du soleil ; le gain est de l'ordre plus de 48%. En dehors de la période estivale ; le gain énergétique sera moins important, comme montré sur la figure IV-7 relative au mois Janvier ; le gain énergétique est de l'ordre de 13.5%.

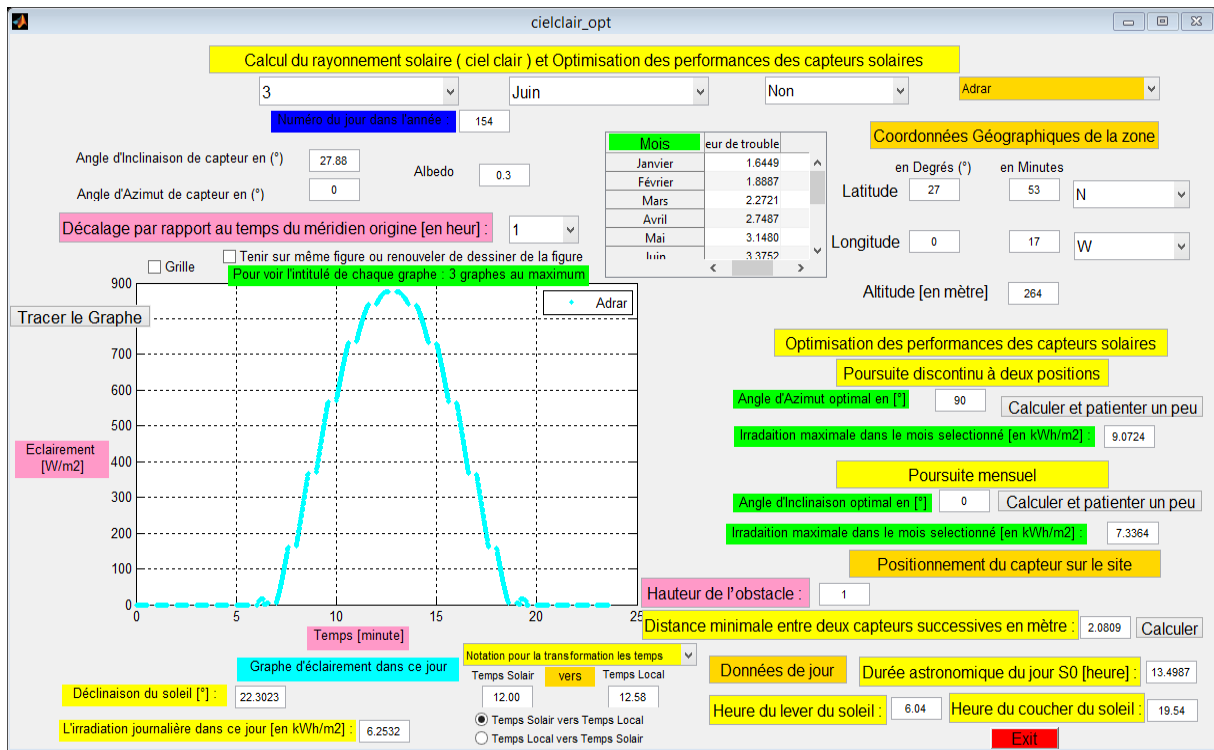


Figure IV.8 : Exemple 5

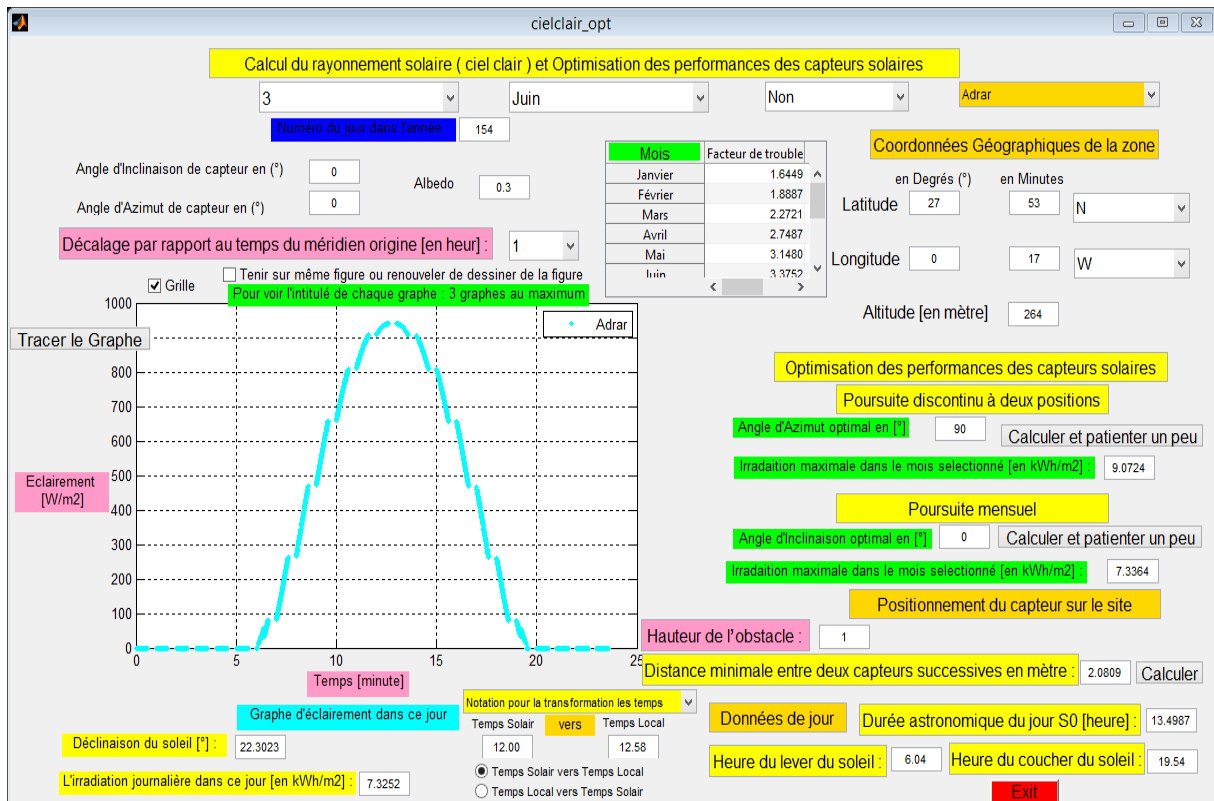


Figure IV.9 : Exemple 6

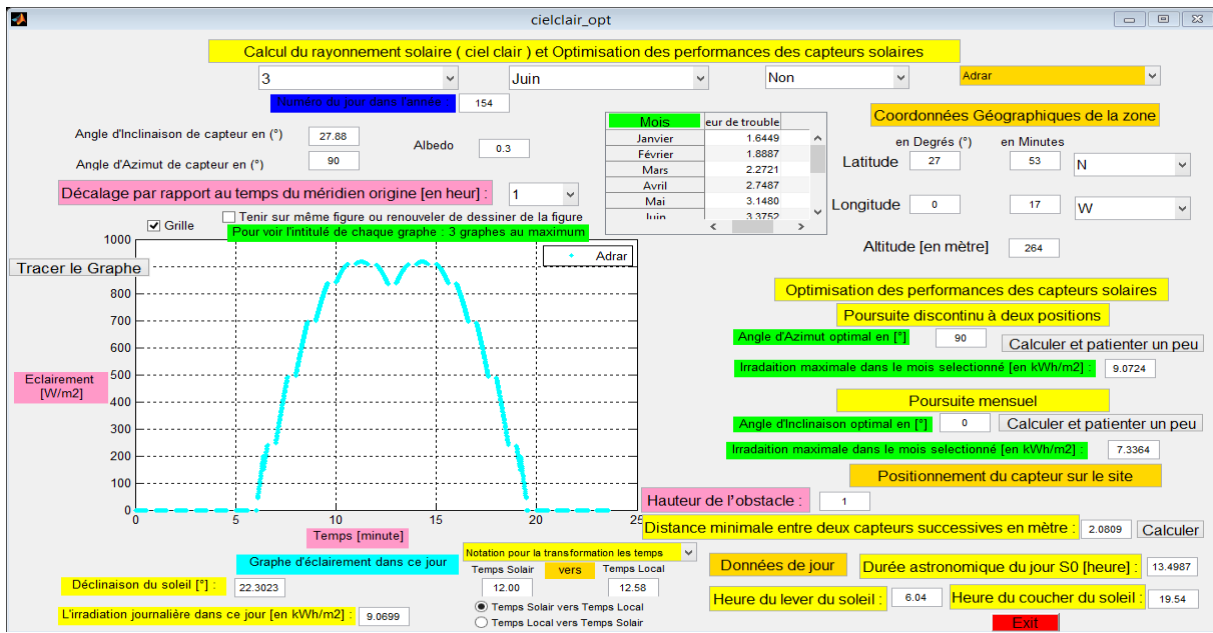


Figure IV.10 : Exemple 7

Maintenant, on change la région de Tamanrasset (figure IV-11). Pour le mois Janvier, les angles d'inclinaison et d'azimut optimaux sont respectivement 61.871° et 41.7419° , ils sont différents aux celles correspondants à la région d'Adrar (Pour la région d'Adrar, les angles d'inclinaison et d'azimut optimaux sont respectivement 66.1452° et 38°). L'irradiation journalière incidente sur un plan horizontal pour le jour 27 Janvier est de 6.3661 kWh/m^2 . L'irradiation journalière incidente sur le plan orienté plein sud et incliné par l'angle de latitude de Tamanrasset ($\beta=22.78^\circ$) est de 8.322 kWh/m^2 . Il est différentes que les irradiances trouvées pour la région d'Adrar. La région de Tamanrasset a un meilleur gisement solaire que région d'Adrar. Le midi est à $12^{\text{H}}:50$ et la distance minimale entre deux capteurs solaires successifs est 1.6797m si la hauteur de l'obstacle est 1m . Ces paramètres et les facteurs de trouble sont complètement différents de celui que nous avons trouvé pour la région d'Adrar.

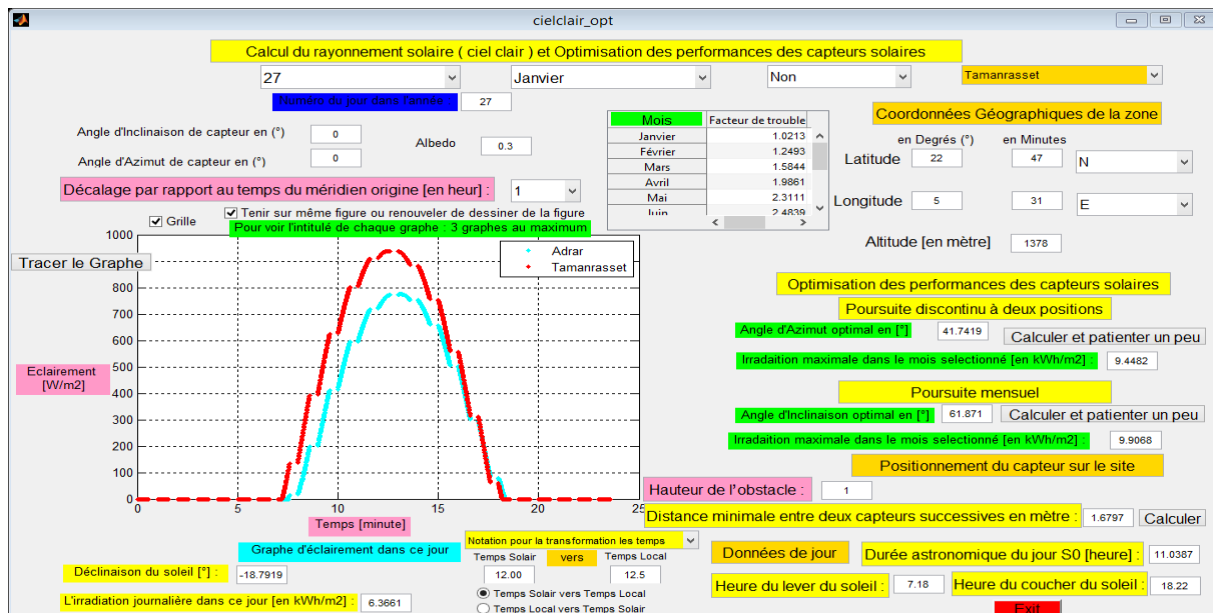


Figure IV.11 : Exemple 8

IV-3. Deuxième interface : Reconstituons le rayonnement diffus et estimation l'irradiation sur un plan incliné

IV-3.1. Cahier des charges

Il s'agit de reconstitution des irradiations direct et diffuse à partir des irradiation mesurées sur un plan horizontal (les données les plus disponibles dans les stations météorologiques) pour un ciel quelconque, d'estimer l'irradiation solaire sur un plan incliné (Modèle de transposition) et de récupération des irradiations horaires dues à l'ombrage.

Donc les fonctions de l'interface sont :

- 1- Choisir l'étude d'une ou plusieurs régions (coordonnées géographiques)
- 2- Tracer le graphe d'irradiation horaire, avec également la possibilité de choisir le jour et le mois.
- 3- Afficher les résultats sous forme de tableau (irradiation globale mesurée sur le plan horizontal, irradiation directe estimée sur le plan horizontal, irradiation diffuse estimée sur le plan horizontal, irradiation globale sur un plan horizontal en cas de masque sur le pyranomètre, coefficient d'ombrage, irradiation globale estimée sur plan inclinée).

Donc notre travail consiste à construire une interface qui contient les fenêtres suivantes :

- ✚ 15 objets de type 'edit'
 - 02 pour l'entrée/sortie la latitude en [°] et [minute].
 - 01 pour le côté de la latitude (non visible).
 - 02 pour l'entrée/sortie la longitude en [°] et [minute].
 - 01 pour le côté de la longitude (non visible).
 - 01 pour l'entrée/sortie l'altitude en [m].
 - 01 pour l'entrée l'albédo.
 - 01 pour le mois (non visible).
 - 01 pour le jour (non visible).
 - 01 pour l'année bissextile (non visible).
 - 01 pour l'entrée l'angle d'inclinaison de capteur en [°].
 - 01 pour l'entrée l'angle d'azimut de capteur en [°].
 - 01 pour le décalage par rapport au temps du méridien origine (Lstm) en (non visible).
 - 01 pour les caractéristiques de graphe (non visible)
- ✚ 09 objets de type 'Menu popup' :
 - 01 pour le choix ou le remplissage les données géographiques d'une région.
 - 01 pour le choix à ce que l'année bissextile ou non.
 - 01 pour sélectionner le mois.
 - 01 pour sélectionner le jour.
 - 01 pour le choix le côté de la latitude (Nord ou Sud).
 - 01 pour le choix le côté de la longitude (Est ou West).
 - 01 pour le choix le décalage par rapport au temps du méridien origine (Lstm) en [heur].
 - 01 pour le choix les caractéristiques de graphe (sous forme courbe ou histogramme).
 - 01 pour lire des commentaires concernant : la forme de fichier attaché et les abréviations que contient le tableau de résultats.

- ✚ 02 objets de type ‘Pushbutton’ :
 - 01 pour Tracer les Graphes.
 - 01 pour Exit (quitter).
- ✚ 14 objets de type ‘Text’ pour définir les zones éditables, les titres et les commentaires.
- ✚ un objet de type ‘Check Box’ :
 - 01 pour griller le graphe (choix oui ou non).
- ✚ 02 objets de type tableau pour.
 - 01 pour afficher les facteurs de trouble.
 - 01 pour les résultats de calcul de l’irradiation solaire horaire.
- ✚ 01 axe pour afficher les graphes de l’irradiation horaire.

IV-3.2. Création et mise en œuvre

IV-3.2_1. Figure de base

Lancer ‘guide’ (command : >>guide) ou ‘Gui’ de sous-menu ‘New’ du menu ‘file’ de ‘MATLAB’.

Construire la disposition graphique retenue, en fixant les textes et les noms des objets (strings et tags, les callbacks, les couleurs,...), indiquée dans la figure IV-12.

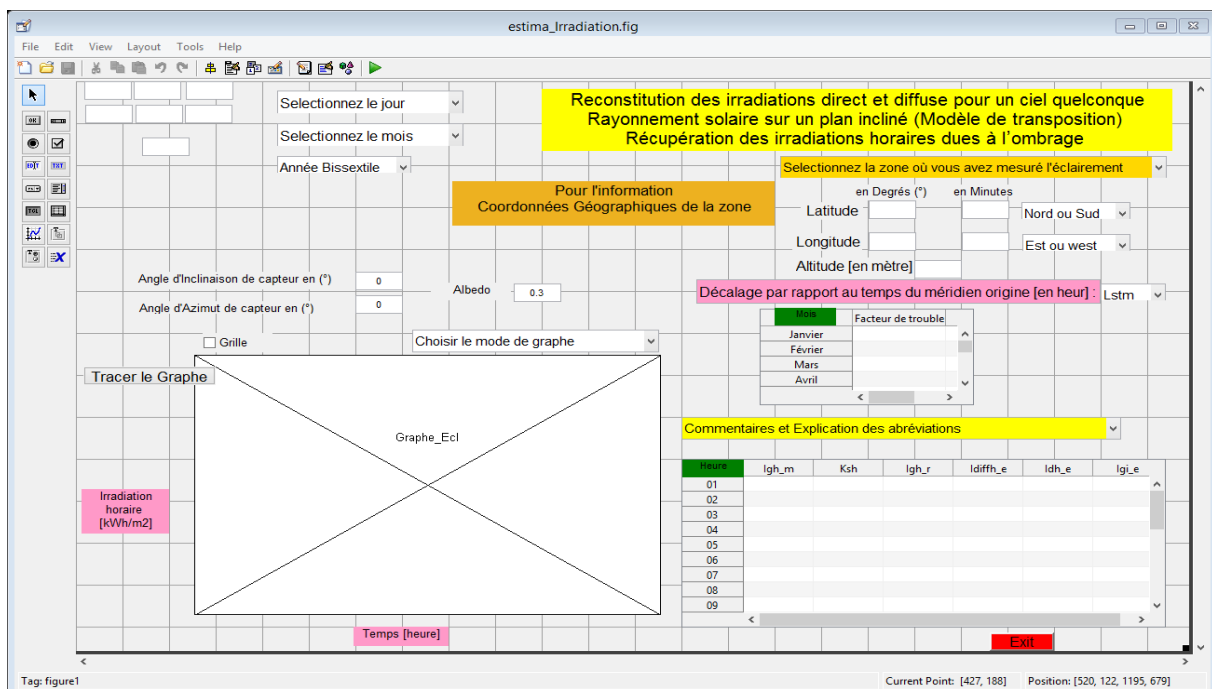


Figure IV.12 : Figure de base

Après avoir construit la figure de base, taper dans l’espace de commande Matlab :
>>estima_Irradiation

On obtient la figure IV-13.

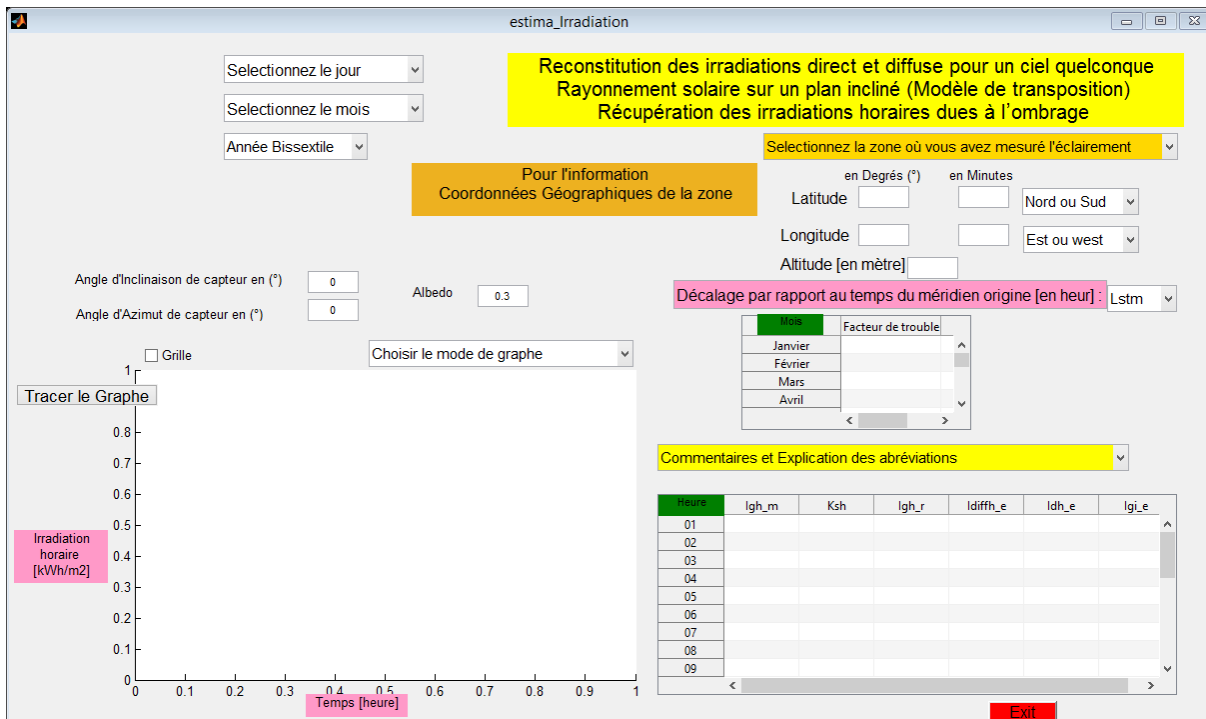


Figure IV.13 : Interface du estima_Irradiation activée

L'interface représentée ci- dessus est doté des fonctionnalités suivantes :

- ❖ Initialement, on choisit le remplissage des données géographiques d'une région ou la sélection l'une des régions (les grandes villes dans le grand sud) où ses données géographiques fournies par l'interface. Ce dernier choix provoque d'afficher les données géographiques (latitude, longitude, altitude), Lstm et les facteurs de trouble.
- ❖ Si on choisit le remplissage des données géographiques d'une région, on entre les données de la région désirée et son décalage par rapport au temps du méridien origine (Lstm). Il faut réactiver l'objet de type 'Menu popup : Remplir les données d'une zone'.
- ❖ On sélectionne le mois, le jour et à ce que année bissextile ou non, et puis on entre les valeurs des caractéristiques de capteur (angle d'inclinaison en [°], angle d'azimut en [°]) et l'albédo selon le type de terrain, et ensuite on enfonce le bouton 'Tracer le graphe'. L'action provoque le tracé d'une figure de différentes irradiation horaire (diffus, direct, globale, mesurée, récupérer, sur un plan horizontal) et l'irradiation journalière dans ce jour.
- ❖ En couchant le 'grille', nous avons la possibilité de griller ou de désactiver le grillage de la figure.
- ❖ On peut sélectionner le mode de traçage, c'est-à-dire les figures présentées sous formes des courbes ou histogramme.
- ❖ En fonce le bouton 'Exit' provoque la fermeture de l'interface.

IV-3.2_2. Exemple

Voici un exemple pratique du fonctionnement de l'interface. Il exige d'introduire les données mesurées sur le plan horizontal (fichier .mat) selon la forme indiquée dans la figure IV-14. Le nom de fichier doit être comme EH'numéro du mois', par exemple : le fichier correspondant au mois de Janvier est nommé par EH01.

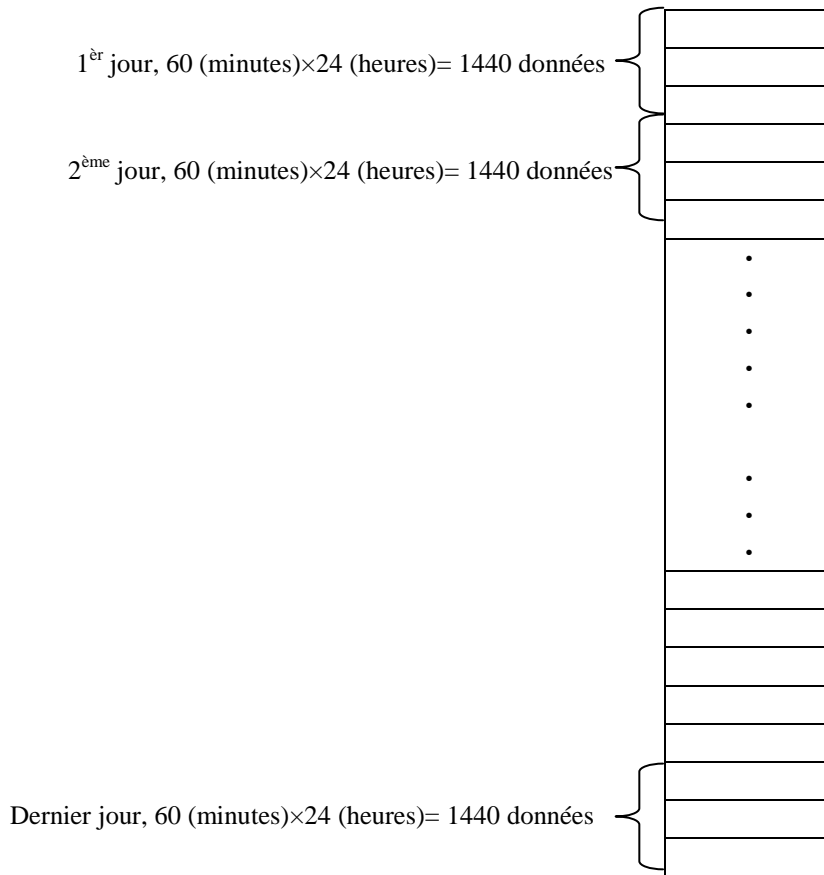


Figure IV.14 : Forme de fichier .mat

Pour la région d’Adrar, et selon les étapes citées précédemment, la figure IV-15 représente les données d’entrées et les résultats correspondants.

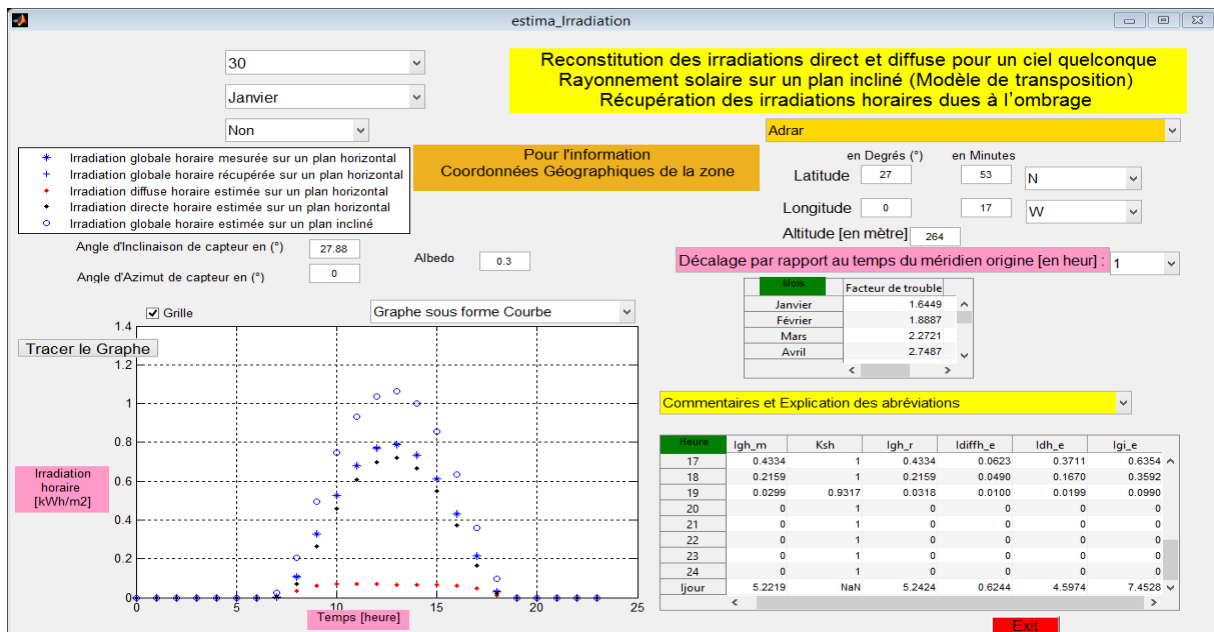


Figure IV.15 : Exemple 9

Pour un plan orienté plein sud et incliné par l'angle de latitude et pour le jour 30 Janvier. L'irradiation journalière incidente sur le plan incliné est de 7.45 kWh/m^2 , tandis que l'irradiation journalière incidente sur le plan horizontal est de l'ordre de 5.22 kWh/m^2 .

Pour les même paramètres, on peut représenter les résultats sous forme histogramme, comme montré dans la figure IV-16. On remarque que l'irradiation récupérée est presque égale l'irradiation mesurée, parce que la station de mesure est placé à un endroit non ombré.

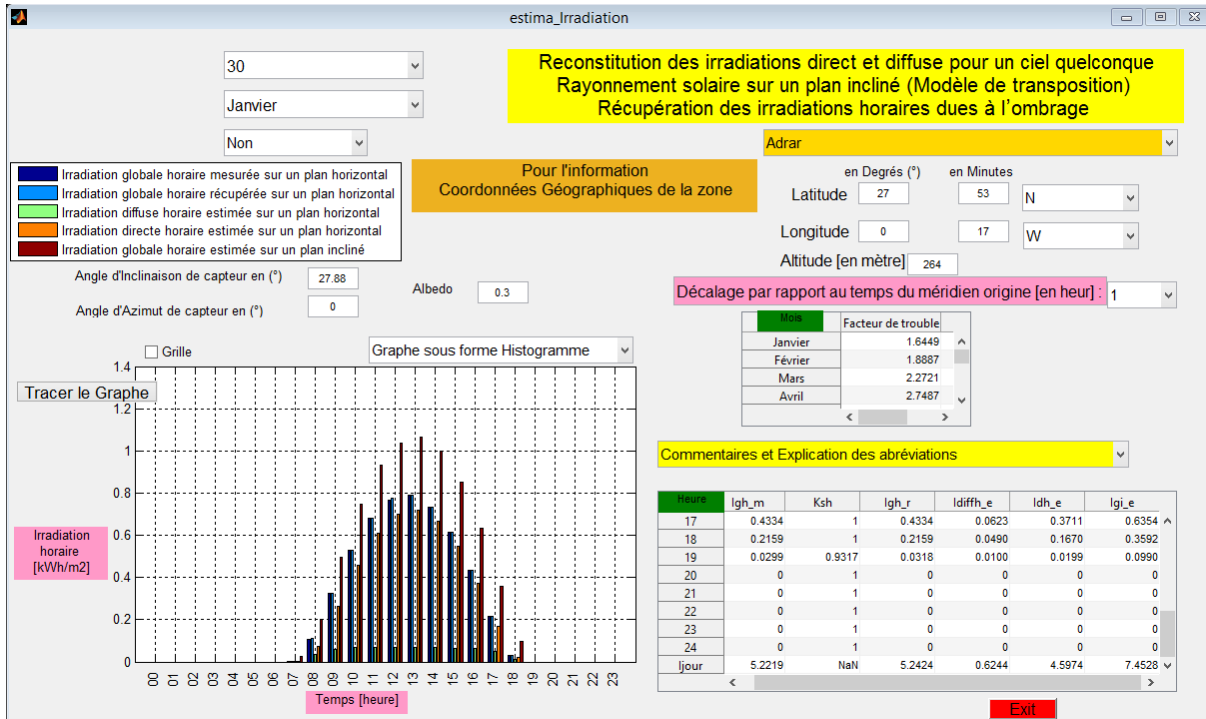


Figure IV.16 : Exemple 10

Si on pose l'angle d'inclinaison égale à 0, c'est-à-dire le plan est horizontal (figure IV-17), on remarque que l'irradiation estimée sur un plan incliné est égale l'irradiation mesurée sur un plan horizontal, ce qui montre l'efficacité de notre code de calcul.

Aussi, on peut représenter toutes les irradiations horaires pendant le mois sélectionné, la forme de facteur d'ombrage et la courbe de l'irradiation à ciel clair (figure IV-18), comme nous avons représenté auparavant dans la figure II.11.

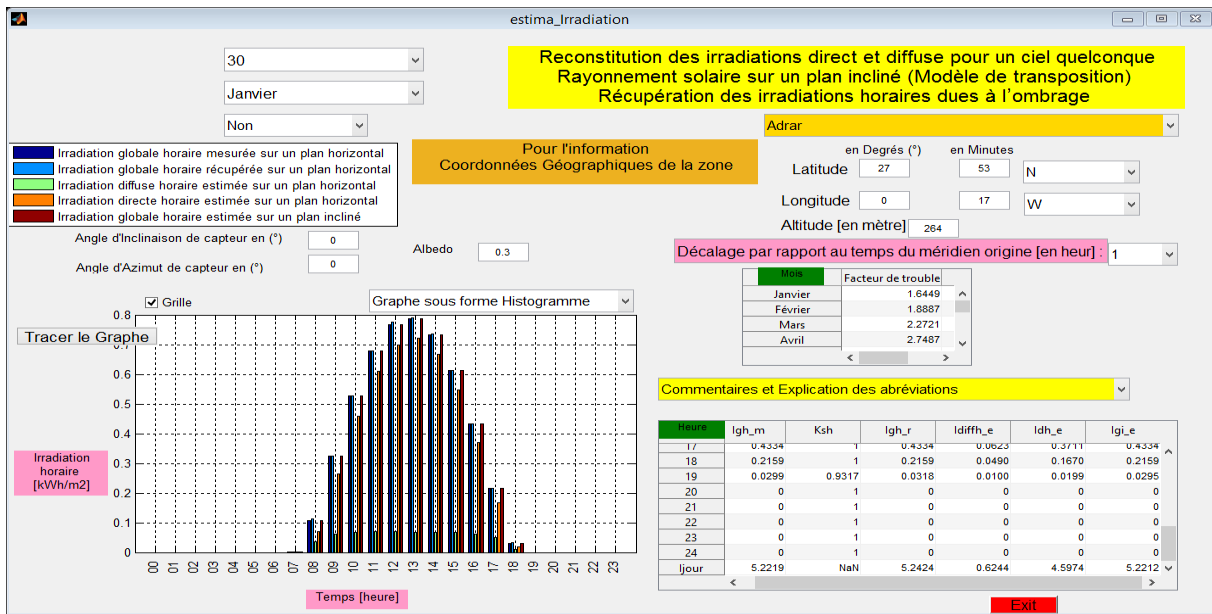


Figure IV.17 : Exemple 11

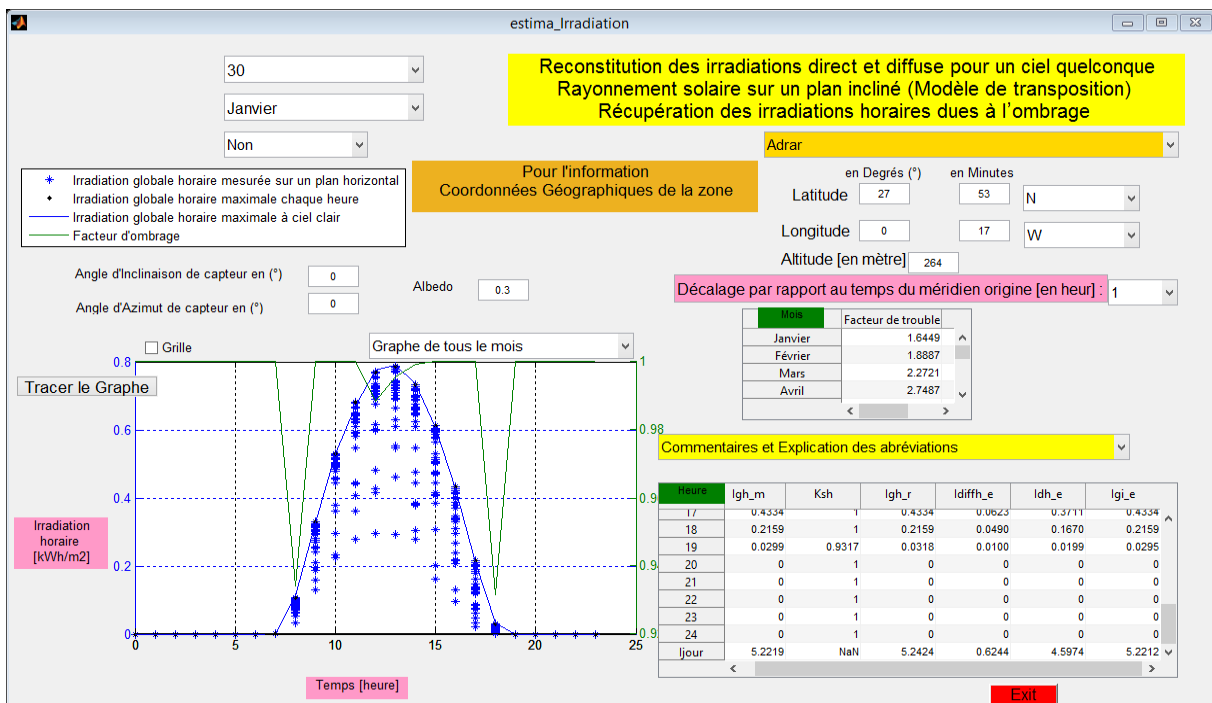


Figure IV.18 : Exemple 12

IV-4. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de calculer du rayonnement solaire à ciel clair et optimisation des performances des capteurs en respectant le cahier des charges défini initialement. Toutes les fonctions de l'interface ont testées. Ainsi, nous avons relevé toutes les courbes.

Le fonctionnement des systèmes solaires est défini et étudié analytiquement au moyen d'un modèle simplifié qui prend en compte tous les paramètres du capteur solaire. Des mesures

expérimentales pour la région d'Adrar du rayonnement sur un plan horizontal ont été décrites dans ce travail.

En plus, les résultats de l'évaluation peuvent être utilisés pour faire la rétroaction sur les informations techniques comme :

- ✓ Taux d'ombrage ;
- ✓ Evaluation du gain énergétique ;
- ✓ Estimation l'irradiation sur un plan incliné.

Ces interfaces interactives seront appliquées aux n'importe quelles régions.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire a fait l'objet d'une réalisation d'une interface interactive de calcul du gisement solaire à ciel clair sous MATLAB (Logiciel GUI). Ce choix est justifié par la raison qu'en fournissant plusieurs informations sans besoin effectuer beaucoup des mesures expérimentales.

A partir les littératures, les résultats démontrent que dans les régions où le ciel est souvent couvert, il est inutile d'orienter les panneaux solaires dans la direction du soleil, car la composante diffuse est si importante (80 %) qu'il est préférable de monter les capteurs solaires à l'horizontale. Donc l'inclinaison et l'orientation optimales des capteurs solaires pour les régions caractérisées par un ciel clair, sont déterminées en utilisant un modèle de l'éclairement à ciel clair. Nous avons étudié le modèle européen de rayonnement à ciel clair.

Dans ce travail, une modélisation du rayonnement solaire par des modèles empiriques pour calculer l'éclairement direct, diffus et global est présentée. Ainsi que des équations propres pour calculer les paramètres atmosphériques (masse, épaisseur optique de l'atmosphère et facteur de trouble). Aussi nous avons présenté un modèle mathématique exact et précis pour reconstruire la composante diffuse de l'éclairement sur un plan horizontal et reconstruire l'éclairement incident sur un plan incliné d'une part, et de faire un dimensionnement optimal d'un système solaire d'autre part, on a présenté les résultats obtenus, basées sur le modèle *Liu & Jordan*. Ce modèle a permis de déterminer l'irradiation sur un plan incliné. Nous avons également montré un très bon accord entre l'expérience et l'estimation d'une part, et d'autre part la validation des modèles qui régissent l'irradiation réceptionné sur un plan incliné.

La préparation des connaissances sur le gisement solaire est très importante pour la conception ou bien l'évaluation des performances des systèmes solaires à l'avenir. Dans ce but, nous avons appliqué le modèle européen à ciel clair qui peut donner l'éclairement pour n'importe quelle région, pour une journée donnée. Ainsi, nous avons appliqué ce modèle pour établir les masques pendant une heure à la cour de mois, et par conséquent, récupérer l'éclairement causé par la présence de l'obstacle.

Le présent travail présente une étude globale pour la réalisation d'un mini laboratoire interactif de calcul de gisement solaire. Il a été nécessaire d'acquérir beaucoup de connaissance concernant le MATLAB et ses instructions (fonction et commandes), et faire preuve de beaucoup d'imagination, car il y a très peu de document traitant de la réalisation d'interfaces graphiques avec GUI (Graphical User Interface).

Dans cette interface, on peut calculer les paramètres suivants : l'angle d'inclinaison optimale dans le cas de poursuite mensuelle et l'angle azimut optimal dans le cas de poursuite discontinue à deux positions. On a donné une généralité sur les deux types de poursuite. Aussi, on peut estimer la distance minimale entre deux capteurs solaires successifs pour éviter l'ombrage. Seulement les caractéristiques géographiques, le jour et le mois exigés pour déterminer ces paramètres pour n'importe quelle région.

Cette étude nous encourage pour la préparation des interfaces interactives dans des autres domaines.

En dépit de toutes les difficultés rencontrées, nous espérons être arrivés à expliquer toutes les démarches nécessaires à la réalisation de leurs propres interfaces graphiques.

Les enseignants universitaires peuvent bénéficier de ces interfaces pour faciliter aux étudiants de comprendre des initiations sur le gisement solaire. Nous souhaitons avoir apporté une contribution modeste mais effective, et que d'autres étudiants continueront sur ce chemin.

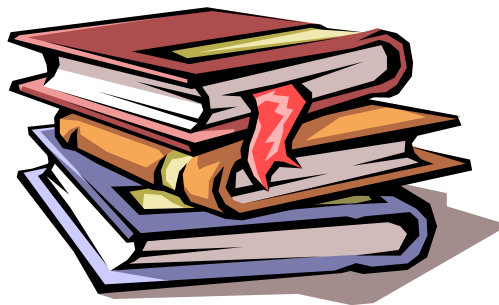
Annexe

Annexe A1

Caractéristique géographique des villes de la région de grand sud [04]

Ville	Latitude(°, minutes)	Longitude(°, minutes)	Altitude (mètre)
Adrar	27.53 N	0.17 W	264
Timimoun	29.15 N	0.14 E	284
Aoulef	26.58 N	1.05 E	209
Tamanrasset	22.47 N	5.31 E	1378
In Salah	27.12 N	2.28 E	243
Tindouf	27.40 N	8.08 W	402
Béchar	31.38 N	2.15 W	806
Beni Abbés	30.08 N	2.10 W	498
Illizi	26.30 N	8.26 E	559
In Amenas	28.38 N	9.38 E	562
Djanet	24.33 N	9.28 E	1054

Bibliographie



Bibliographie

- [01] **Ch. Perrin, Ch. Vauge**, *Le gisement solaire, évaluation de la ressource énergétique*, Lavoisier TEC et DOC, 11, rue Lavoisier 75008, Paris.
- [02] **Office fédéral des questions conjoncturelles Service de la technologie**, *Centrales photovoltaïques : Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets, A l'usage des bureaux d'ingénieurs*, Coordination romande du programme d'action «Construction et énergie» EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne, Juin 2006.
- [03] **J. Royer, T. Djiako, E. Schiller et B.S. Sy**, *Pompage Photovoltaïque*, IEPF, Université d'Ottawa, EIER, CREPA. ISBN 2-89481-006-7, Canada 1998.
- [04] **M. Capderou**, *Atlas solaire algérien*, Tome1, Edition école polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Algérie, 1986.
- [05] **M. Yaichi**, *"Etude, Contrôle et Optimisation des performances d'une chaîne de conversion photovoltaïque utilisant des Onduleurs Multiniveaux Asymétriques"*, Thèse de doctorat en science, Université Djillali Liabes, Sidi-Bel-Abbès, Mai 2016.
- [06] **O. Boumediene**, Rapport de confirmation, Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien URER/MS, Adrar, 2004.
- [07] **A. Ricaud**, *Photopiles solaires, de la physique de la conversion photovoltaïque aux filières, matériaux et procédés*, Presses polytechniques et universitaires romandes, ISBN 2-88074-326-5, 1997.
- [08] **J. Hofierka, M.Suri**, "The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications", Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002 - Trento, Italy, 11-13 September 2002.
- [09] **A. Ricaud**, *Gisement solaire et transferts énergétiques*, Cours Master Energies Renouvelables, Université de CERGY-PONTOISE, Janvier 2016.
- [10] **M. D. Draou**, *"Analyse et contribution à l'amélioration des performances énergétiques des systèmes photovoltaïques : Etude du cas du système suiveur de soleil"*, Mémoire de Magistère, Université de Béchar, Octobre 2007.
- [11] **Direction des ressources en électricité**, *Les systèmes photovoltaïques Guide de l'acheteur*, © Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2003, N° de catalogue : M92-28/2001F, ISBN : 0-662-86306-2.
- [12] **R. Bernard, G. Menguy et M. Schwartz**, *Conversion thermique de rayonnement solaire*, © Lavoisier TEC et DOC, 11, rue Lavoisier F 75384 Paris, ISBN : 2-85206-076-0. 2^{ème} édition 1980.
- [13] **J. M. Chasseriaux**, *Le rayonnement solaire : Conversion thermique et applications*, ISBN : 2-04-015601-1, © BORDAS, Paris, 1984.
- [14] **Y. Harmim**, Rapport d'activité scientifique, Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien URER/MS, Adrar, 2013.
- [15] **Y. Harmim, A. Mammeri, A. Harmim et M. Yaichi**, *"Vérification expérimentale de la faisabilité de la poursuite solaire discontinue à deux positions pour panneaux PV à Adrar"*, Revue des Energies Renouvelables. Vol 4/15 (2012) 581-587.

[16] **D. Uchida, K. Otani, K. Kurokawa**, “*Evaluation of effective shading factor by fitting a clear-day pattern obtained from hourly maximum irradiance data*”, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 67 (2001) 519–528.

[17] **T. Oozeki, T. Izawa, K. Otani, K. Kurokawa**, “*An evaluation method of PV systems*”, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 75 (2003) 687–695.

[18] **K. Kurokawa, D. Uchida, K. Otani**, “*Realistic PV performance values obtained by a number of grid-connected systems in japan*”, *North Sun '99 8th Intern. Conf. on Solar Energy in High Latitudes*, Edmonton, Canada, Août. 11-14, 1999.

[19] **Y. Ariba, J. Cadieux**, *Matlab Manuel*, Départements GEI & Mécanique, Icam, Toulouse.

[20] **A. Rami, M. Benaissa**, “*Réalisation d'un mini laboratoire interactif d'asservissement sous MATLAB (Logiciel GUI)*”, Mémoire fin d'étude en électrotechnique, Université Djillali Liabes, Sidi-Bel-Abbès, Novembre 2003.

[21] **A. Desbiens, E. Poulin**, utilisation de Matlab/Simulation pour l'étude des systèmes dynamiques, 17 Décembre 2011.

[22] Introduction à Matlab 1, Cour Matlab.

إنشاء مختبر تفاعلي صغير لحساب الإشعاع الشمسي باستعمال الماتلاب (برنامج واجهة المستخدم الرسومية)

ملخص : في وقتنا الحالي، أصبحت استعمالات الطاقة الشمسية خيارا أساسيا في الحياة على وجه الخصوص في المناطق الصحراوية؛ نظرا لبيئتها المناخية الملائمة ومناطقها المنعزلة وتميزها بوجود كمية هائلة من الأشعة الشمسية، مما يجعلها الخيار الأمثل لتطبيقات الطاقة الشمسية. إن تطوّر تحويلات الطاقة الشمسية يعتمد أساسا على مردودية الكمية المنتجة من الطاقة المطلوبة مقارنة بتكلفة تجهيز منشآت الطاقة الشمسية.

لكن هذه التحويلات تطرح عائق متعلق في مماثلة الإشعاع الشمسي، بحيث أنّ التصميم ومحاكاة الأنظمة تتطلب معلومات مفصلة ودقيقة عن الإشعاع الساعي المباشر والمنتشر على السطح المدروس.

هذه المعلومات نادرة وصعب الحصول عليها، ويتوفر منها فقط الإشعاع الإجمالي على السطح المستوي (الأفقي). أصبح من العاجل إيجاد سبل أخرى لدراسة المجال الإشعاعي في المنطقة من بينها: محاكاة الإشعاع الشمسي باستعمال الحاسوب، حيث تتوفر عدة نماذج لحساب الإضاءة في جو صافي والأكثر صلاحية وتطبيقا منها هو النموذج الأوروبي 2000..... الخ. وباعتبار معلومات الإشعاع الساعي المتوفرة والمأخوذة من سطح أفقي، فالحسابات تطبق تتم على مرحلتين؛ أولا تقدير الإشعاع المنتشر والمباشر، ثم الإشعاع الإجمالي للسطح المائل من خلال الإشعاع الإجمالي والمنتشر على السطح الأفقي. الأهداف الرئيسية من هذا البحث: هو عرض وتجسيد واجهات تفاعلية ببرنامجا تسمح بتقييم المكمّن الشمسي وحساب الإشعاع الشمسي لمختلف المناطق بدون الحاجة للقيام بالكثير من القياسات التجريبية وتحليل مختلف النتائج المتحصل عليها من خلال تغيير مختلف المعايير للاقط الشمسي. النتائج المتحصل عليها تستعمل في العديد من تطبيقات اللواقط الشمسية، كما أنّ التجسيد يساهم أيضا في استرجاع القيم المضبوطة والدقيقة للإشعاع الشمسي في حالة التظليل على البيرانونومتر. يمكن للأساتذة الجامعيين استعمال هذه الواجهات التفاعلية لتبسيط وتصور الإشعاع الشمسي للطلاب.

الكلمات الدلالية : المكمّن الشمسي، سماء صافية، النموذج الأوروبي، واجهة تفاعلية، الماتلاب.

Réalisation d'un mini laboratoire interactif de calcul du gisement solaire sous MATLAB (Logiciel GUI)

Résumé : Actuellement, l'utilisation des énergies solaires a émergé récemment comme choix très important dans la vie. En particulier, le milieu saharien par sa nature aride où la plus grande partie de la région agraire est isolée, et la disponibilité d'un immense solaire peut rendre les applications solaires, comme une opération très importante. Le développement de la conversion de l'énergie solaire est tributaire, à la fois, du rendement, du forme de l'énergie désiré et du coût des installations solaires.

La conversion de l'énergie solaire en une autre forme pose le problème de la modulation du **gisement solaire disponible**. En effet, **la conception et l'optimisation** des systèmes solaire nécessite des informations détaillées sur les irradiations horaires, directes et diffuses sur le plan considéré. Ces données sont rares et seules sont disponibles celles de l'insolation globale sur un plan horizontal. Il devient de plus en plus urgent de prospecter également d'autres voies menant à la connaissance de gisement solaire dans une région. Parmi ces voies, **la simulation de l'irradiation solaire grâce aux ordinateurs**. Plusieurs modèles de calcul de l'éclairement à ciel clair ont été développés, le **modèle européen 2000** est validé et appliqué.

En considérant, les données des irradiations horaires sur le plan horizontal, les calculs se font en deux étapes. L'estimation de l'irradiation diffuse et directe puis le calcul de l'irradiation globale sur un plan incliné à partir du globale et du diffus sur le plan horizontal.

Le but principal de ce sujet est donc, de proposer et réaliser **des interfaces graphiques interactives** permettant l'évaluation de gisement solaire et au calcul de l'éclairement solaire pour des différentes régions, sans besoin avoir effectué beaucoup des mesures expérimentales, et l'analyse des différences résultats lors de **variation des différentes paramètres d'un capteur solaire**. La connaissance de ces données nous sera utile pour plusieurs applications solaires. Cette réalisation a aussi contribué à la **récupération des valeurs exactes de l'éclairement solaire en cas d'un ombrage sur le pyranomètre**.

Les enseignants universitaires peuvent bénéficier de ces interfaces pour faciliter de comprendre les étudiants des initiations sur le gisement solaire.

Mots clés : Gisement solaire, Irradiation, Ciel clair, Modèle européen, Interface interactive, Matlab.