



Fig. I-8 Appareil de mesure des rayons directs (pyrhéliomètre).

b) Rayonnement diffus :

C'est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un pyranomètre avec un pare-soleil (bande métallique circulaire) qui protège le pyranomètre du rayonnement solaire direct.



Fig. I-9 Appareil de mesure des rayons diffus (pyranomètre).

c) Rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo :

C'est le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface à l'énergie solaire incidente. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont : les nuages, les surfaces de

neige et de glace. Par exemple, l'albédo de la neige fraîche est de 0,87, ce qui signifie que 87 % de l'énergie solaire est réfléchi par ce type de neige. Il peut être mesuré par un Albédo mètre.



Fig. I-10 Appareil de mesure des rayons diffus (Albédo mètre).

d) Rayonnement global :

On mesure la puissance du rayonnement solaire globale sur une surface horizontale grâce à un pyranomètre qui comprend une double coupelle de verre, un thermophile (série de thermocouples) et un système d'enregistrement de la force électromotrice produite par ce thermophile sous l'action d'un rayonnement. Quand l'instrument est exposé à la radiation solaire, une différence de température est créée entre les secteurs noirs et les secteurs blancs. Cette différence de température est détectée par la thermophile qui convertit l'énergie thermique en énergie électrique. Ce courant peut être mesuré et amplifié et le signal de millivolt est converti par un facteur de calibrage en un flux en watt par mètre carré.

Il représente la somme de tous les rayonnements reçus (direct+diffus+albédo).



Fig. I-11 Appareil de mesure des rayons (direct+diffus+albédo) Pyranomètre

1.8 Durée d'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell–Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés ; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages [3]



Fig. I-12 appareil de mesure de la durée d'insolation (héliographe).

1.9 Mesure de la température solaire

Une sonde de température dans une installation solaire utilise des thermocouples pour mesurer la température.

Un thermocouple est un circuit formé par deux métaux différents entre les soudures desquels toute différence de température se traduit par l'apparition d'une force électromotrice.



Fig. I-13 Appareil de mesure de la température (thermocouple).

I.10 Données environnementales collectées in situ :

Le Vantage Pro 2 Station de l'environnement de système Davis Instrument se compose de sonde de capteur de pluie, capteur d'indice UV, pyranomètre, anémomètre, alimentation solaire, baromètre, émetteur de l'énergie solaire. Tous ces capteurs transmettent des données vers le module d'interface de capteur par fréquence radio de 868 MHz. Le récepteur comprend le petit enregistreur de données. Nous pouvons utiliser le câble USB pour télécharger les données météo à l'ordinateur comme indiqué dans la Fig. 1.14 Le système sera en mesure de transférer les données météorologiques et les stocker dans la base de données de l'ordinateur embarqué. Le logiciel WeatherLink a été utilisé pour traiter, afficher et stocker les données collectées dans l'ordinateur.

Cette station a fait ses preuves en matière de fiabilité et précision des mesures à travers le monde. Son principal avantage est un rapport qualité prix très intéressant. Elle est installée de manière autonome, avec une alimentation par panneaux solaires. De plus, elle est modulable selon les besoins spécifiques de l'utilisateur. Elle bénéficie d'un module « température du sol », ainsi que d'un module « rayonnement solaire », en plus des données climatologiques de base (température de l'air, mesure du vent et pluviométrie).

Les données sont transmises à un enregistreur Davis Envoy8X. Sa mémoire lui permet de stocker jusqu'à 1 mois de données à une résolution temporelle de 5 minutes. Ce dernier est

stocké dans un abri anti-intempéries. La portée radio de cette station est de 300 m en visibilité directe.

De par son utilité et les services qu'elle peut rendre, nous avons jugé nécessaire d'installer ce système à l'intérieur d'un site approprié de l'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran(USTO). Le bâtiment de Laboratoire D'analyse et d'Application des Rayonnements (LAAR) est le lieu qui a présenté tous les acquis à savoir le plus haut des sites possibles, ce qui nous a permis d'éviter les obstacles.

L'équipement de base est installé à l'abri, dans un lieu dégagé. Il renferme deux instruments de mesure homologués, protégés des rayons solaires et de l'effet du vent. Ce sont : le thermomètre pour mesurer la température [$^{\circ}\text{C}$] et l'hygromètre pour mesurer l'humidité relative [%], Une girouette permet de connaître la direction du vent [$^{\circ}$], Un anémomètre mesure la vitesse du vent [m/s], un baromètre permet de mesurer la pression atmosphérique [mbar], Un pluviomètre permet de mesurer la quantité d'eau tombée en un lieu donné et pendant une durée donnée[mm], un pyranomètre pour mesurer le rayonnement global du soleil [W/m^2].

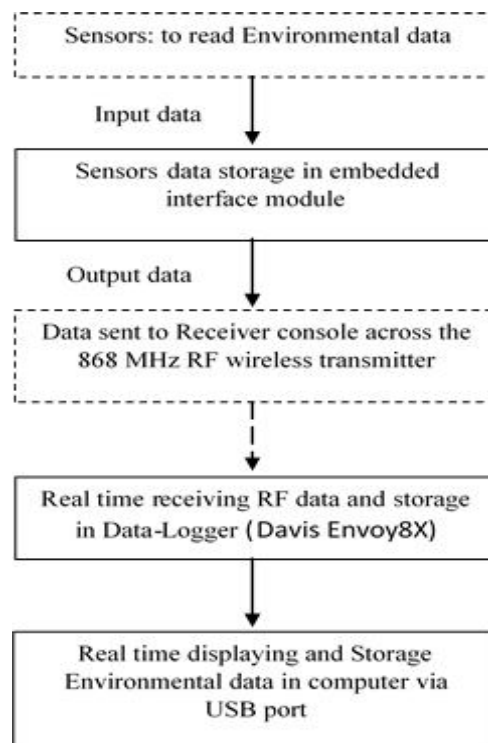


Fig. I-14 Organigramme global du système de station de l'environnement : Vantage Pro II.

I.11 Application et vérification des modèles du rayonnement solaire journalier

Dans le cas d'un jour clair, si on désire une évaluation rapide de la puissance reçue au sol sur un plan horizontal, on peut utiliser les modèles simplifiés suivants :

I.11.1 Modèle de PERRIN DE BRICHAMBEAU

Ce modèle est présenté par les formules suivantes [10-11-12]

$$g = s + d$$

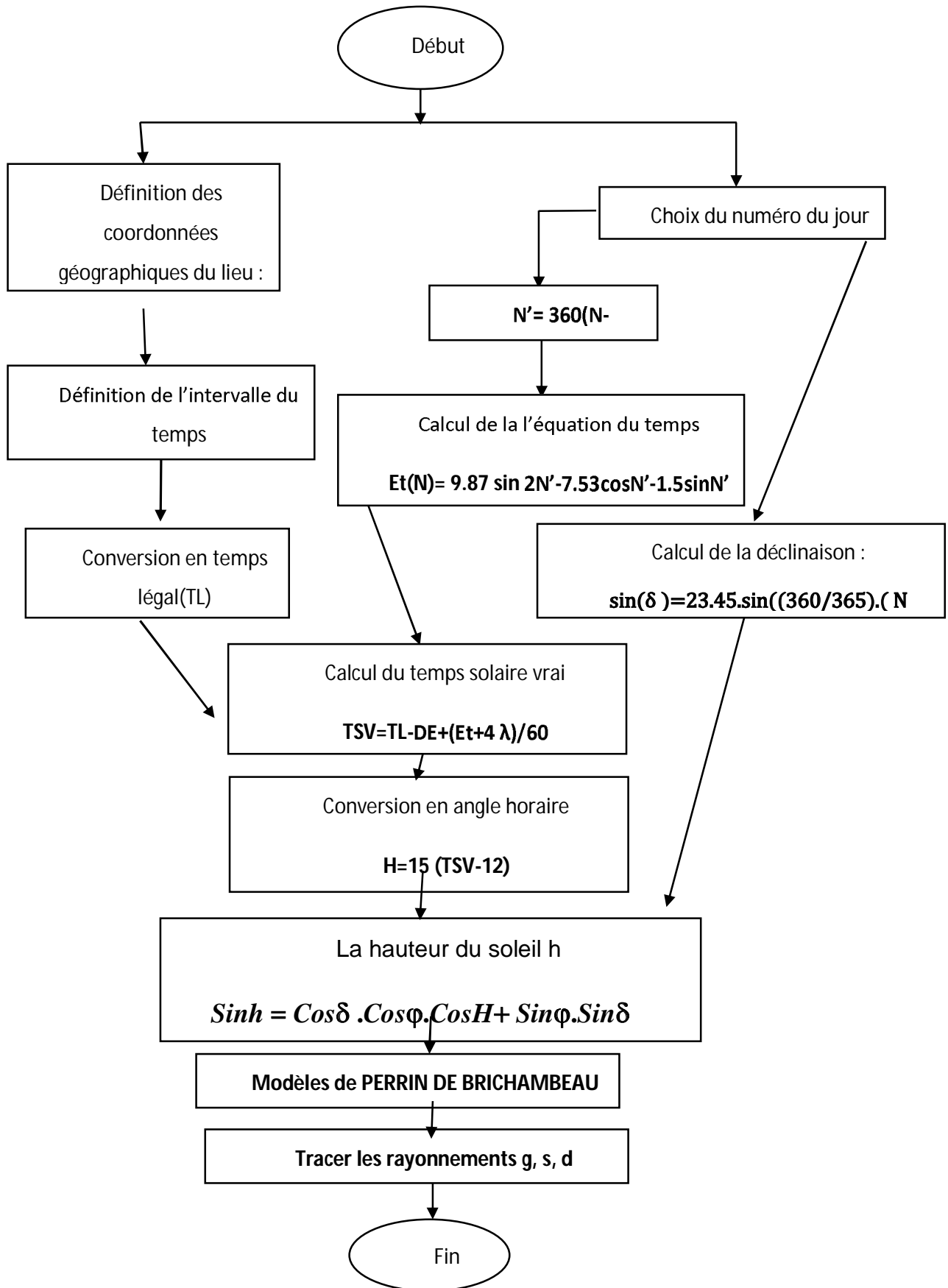
$$s = A.\sin(h).\exp\left(\frac{-1}{C.\sin(h+2)}\right)$$

$$d = B.\sin(h)^{0.4}$$

avec : A, B et C donnés par le tableau suivant :

Tableau I-2 Valeurs des coefficients A, B et C

Etat du ciel	A	B	C
Ciel très	1300	87	6
Ciel	1230	125	4
Ciel pollué	1200	187	5



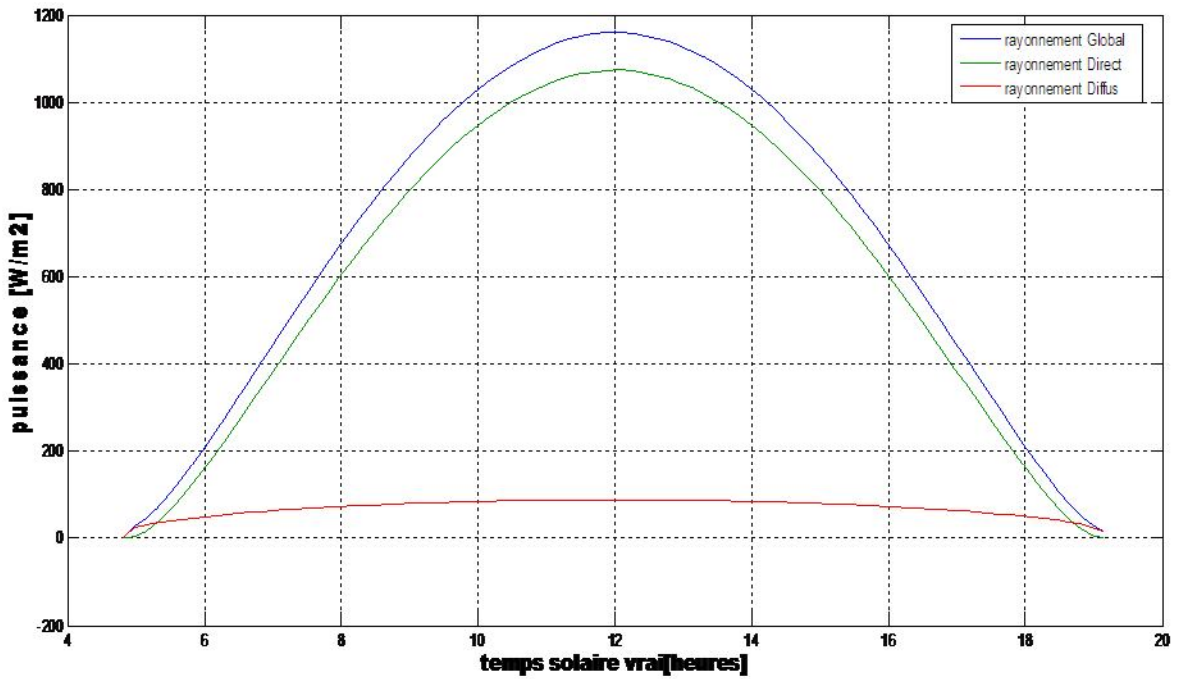


Fig. I-15 Variation de la puissance globale, directe et diffusée, au cours d’un jour clair (le 21 juin) sur un plan horizontal par le modèle PERRIN DE BRICHAMBEAU.

Nous pouvons constater que la valeur de rayonnement global (G) varie entre 1000 et 1200 w/m² au midi TSV pour les trois cas atmosphériques ; cependant, pour le rayonnement diffus (D) (Fig I.17) à valeur maximale correspondant au ciel pollué est environ de 250 w/m² et la minimale pour un ciel très clair est moyen égale à 80 w/m².

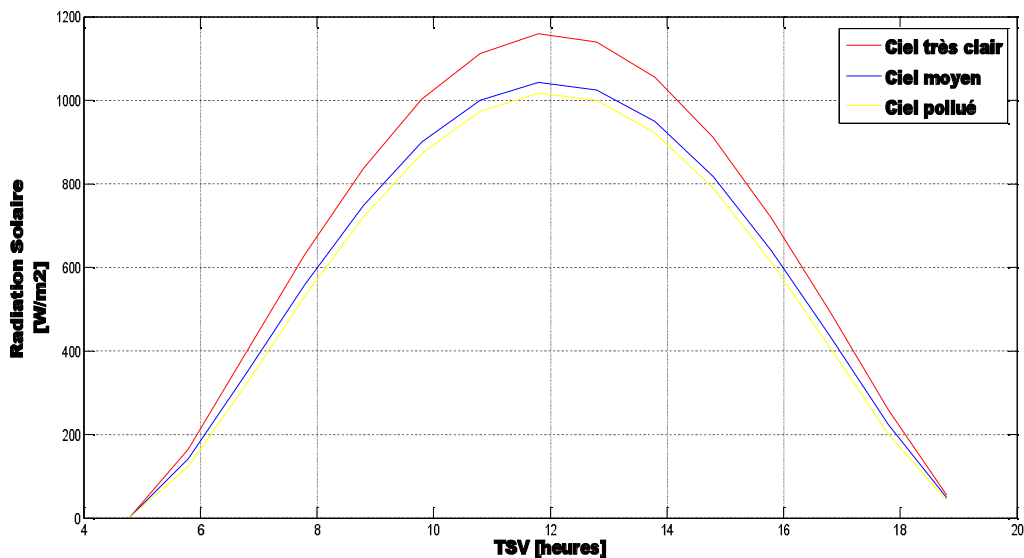


Fig. I-16 Evaluation de l’intensité du rayonnement global relatif aux trois états atmosphériques.

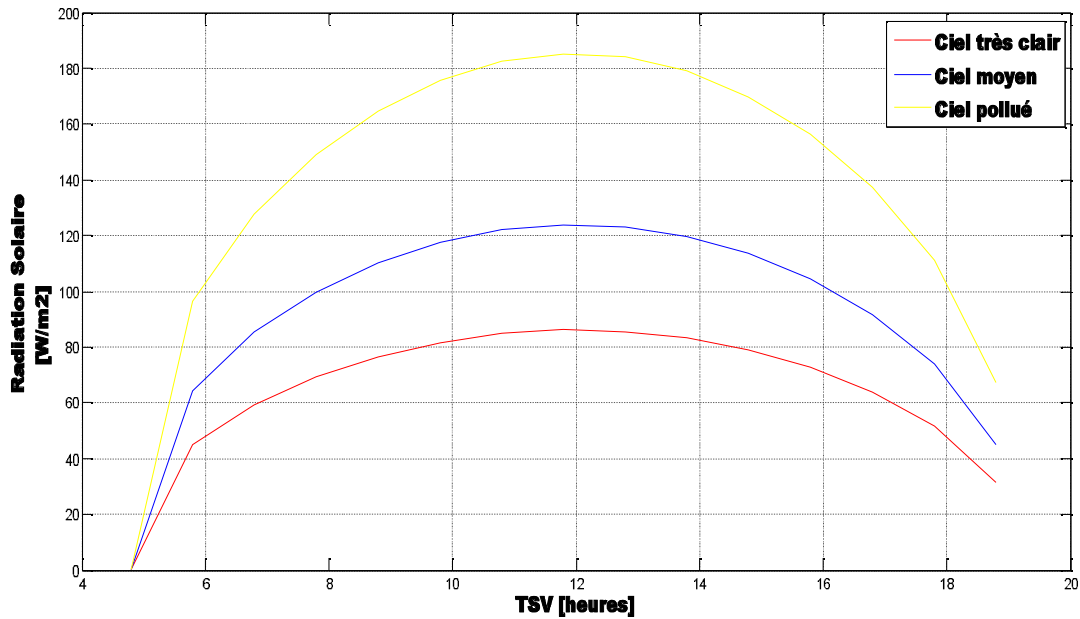


Fig. I-17 Evaluation de l'intensité du rayonnement diffus relatif aux trois états atmosphériques.

I.11.2 Modèle de HOTTEL et LIU JORDAN[13-14]

$$g = s + d$$

$$s = g_0 \cdot \sin(h) \cdot \tau_b$$

$$d = g_0 \cdot \sin(h) \cdot \tau_d$$

τ_b et τ_d sont les transmissions pour le direct et le diffus.

$$\tau_b = a_0 + a_1 \cdot \exp\left(\frac{-K}{\sin(h)}\right)$$

$$\tau_d = (0.2710 - 0.2939) \cdot \tau_b$$

avec :

$$a_0 = 0.4237 - 0.0082 \cdot (6 - z)^2$$

$$a_1 = 0.05055 + 0.00595 \cdot (6.5 - z)^2$$

$$K = 0.2711 + 0.01858 \cdot (2.5 - z)^2$$

z : altitude du lieu en km

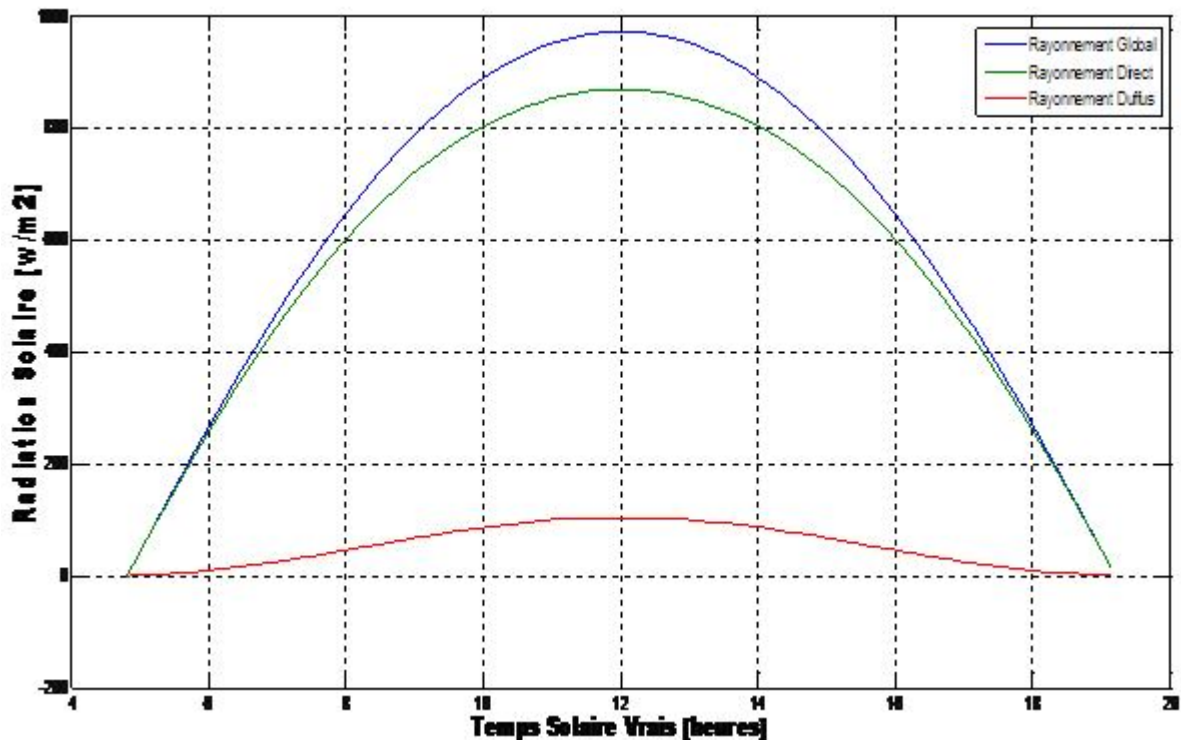


Fig. I-18 Variation de la puissance globale, directe et diffusée au cours d'un jour clair (le 21 juin) sur un plan horizontal par le modèle HOTTEL et LIU JORDAN.

I.11.3 Vérification expérimentale des modèles du rayonnement solaire

En utilisant les formules théoriques données par les deux modèles celui de PERIN DE BRICHAMBAUT et celui de LIU JORDAN, on a tracé les graphes de la puissance globale sur un plan horizontal pour la région d'Oran et on les a comparés avec les valeurs expérimentales prises de notre station de l'environnement (Vantage Pro 2 Davis Instrument). Les résultats obtenus sont simulés du lever au coucher du soleil selon les valeurs expérimentales relevées au site respectivement pour le 21 Juin.

L'analyse de figure montre que les deux modèles sont proches aux valeurs expérimentales au lever et au coucher du soleil et pour le midi solaire c'est le modèle de LIU JORDAN qui est plus commode.

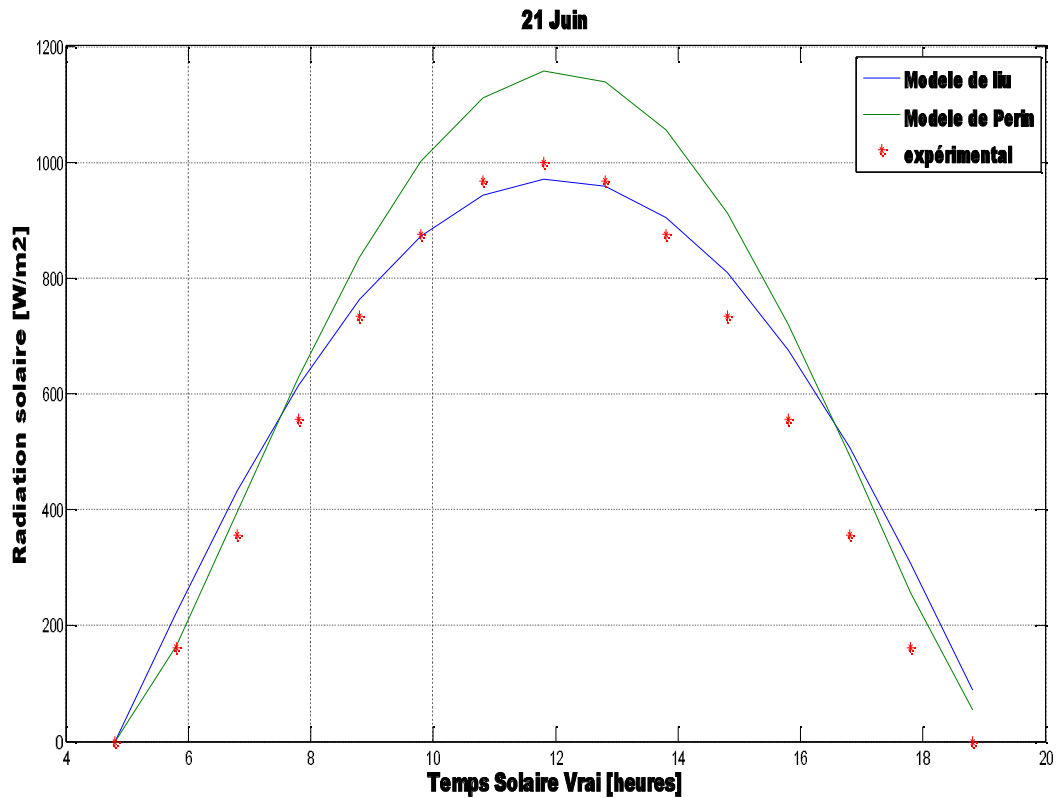


Fig. I-19 Rayonnement globale sur un plan horizontal pour le 21 Juin.

I.12 Energie solaire globale mensuelle reçue sur un plan horizontal [15]

I.12.1 Formules de base

a) Le rayonnement solaire hors atmosphère

Le rayonnement solaire extraterrestre (hors atmosphère) est le rayonnement solaire qui frappe la surface de la couche atmosphérique. Pour avoir l'irradiation solaire globale (G_0 : MJ/m².jour) sur une surface horizontale à la limite supérieure de l'atmosphère on utilise la relation suivante [16-17] :

$$G_0 = \frac{24}{\pi} g_0 \left[\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(W) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) \cdot \frac{\pi}{180} W \right] \quad \text{(I-8)}$$

$$g_0 = I_0 \left[1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot N}{365}\right) \right] \quad \text{(I-9)}$$

I_0 : constante solaire (W/m²)

φ : Latitude du lieu

δ : Déclinaison du soleil

N : Numéro du jour de l'année

W : Angle horaire pour la journée type N de chaque mois, déterminé à partir de l'équation :

$$W = \arccos(-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)) \quad (\text{I-10})$$

On remarque que l'irradiation solaire globale (G0) sur une surface horizontale en dehors de l'atmosphère dépend de la constante solaire (I0), de la latitude du lieu considéré (φ), de la déclinaison (δ) et de l'angle horaire (w).

b) Fraction d'insolation

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

On appelle "Do" la durée astronomique du jour ; c'est l'intervalle entre le lever et le coucher du soleil.

- La "fraction d'insolation quotidienne " noté par σ est par définition :

$$\sigma = \frac{D}{D_0} \quad (\text{I-11})$$

avec :

$$D_0 = \frac{2}{15} \arccos(-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)) \quad (\text{I-12})$$

1.12.2 Premier modèle (modèle d'Angstrom)

L'irradiation solaire et la durée d'insolation dépendent des effets combinés d'événements astronomiques et météorologiques. La première relation est arrivée dans la forme d'une expression linéaire (cas particulier) comme suggérée par Angstrom [18]. Sa formule a été employée dans des applications pratiques pendant plusieurs années pour estimer l'irradiation solaire globale quotidienne, mensuelle, et annuelle à partir des mesures de la durée d'insolation, selon l'expression suivante :

$$\frac{G}{G_0} = a + b\sigma \quad (\text{I-13})$$

Le rapport $G_ / G_0$ est appelé "indice de clarté" :

$$K_t = \frac{G}{G_0} \quad (\text{I-14})$$

Avec :

G_0 : étant l'irradiation solaire globale mensuelle hors atmosphère (J/m².jour).

G : l'irradiation solaire globale mensuelle au sol (J/m².jour).

σ : La fraction d'insolation.

a et b : sont les paramètres du modèle qui vont être déterminés par la méthode des moindres carrés à partir d'une base de données.

Dans la région d'Oran : $a= 0.2392$ $b=0.5387$

1.12.3 Le deuxième modèle

Dans ce modèle, on utilise la fraction d'insolation et un paramètre climatique, qui est l'humidité relative moyenne de l'air ; il est donné par l'expression suivante :

$$\frac{G}{G_0} = a + b\sigma + cR$$

a , b , c : sont les paramètres de ce modèle qui vont être déterminés par la méthode des moindres carrés.

R : L'humidité relative moyenne de l'air.

1.12.4 Résultat et discussion

a. Premier modèle

Le tableau suivant illustre les différents calculs et mesures effectués dans ce travail, comme le jour type du mois pour une grandeur donnée qui se définit par son rapprochement le plus de la moyenne mensuelle de cette grandeur et son numéro de jour, la Déclinaison δ (o) calculé par la relation (1), la durée d'insolation mesurée $D(h)$, le fraction d'insolation $\bar{\sigma}$ calculé par la relation (5), G [Wh/m²] calculé par la formule d'Angstrom et l'indice de clarté (K_t) .

Tableau I-3 Calculs et mesures du rayonnement global.

Mois	G_0	G mesuré	Déclinaison $\delta(o)$	Durée d'insolation astronomique $D_0(h)$	Durée d'insolation mesurée D(h)	fraction d'insolation ϕ	G [Wh/m ²] Calculé	Indice de clarté Kt
Jan	5025.6	2600	-20.9337	9.89	5.24	0.53	2630.9	0.5247
Fév	6354.50	3480	2.6309	10.70	5.67	0.53	3341.2	0.5247
Mar	8177.70	5140	-2.4618	11.76	7.52	0.64	5266.6	0.6432
Avr	9933.69	5900	9.3709	12.89	8.12	0.63	5749.3	0.5786
Mai	11095.63	6410	18.7610	13.86	9.56	0.69	6780.1	0.6109
Jun	11542.97	7500	23.2060	14.36	9.90	0.69	7057.8	0.6109
Jull	11292.39	7390	21.2091	14.13	11.30	0.80	7566.7	0.6702
Aout	10333.95	6710	13.5066	13.30	10.50	0.79	6882.9	0.6648
Sep	8756.71	5710	1.8815	12.17	8.76	0.72	5479.8	0.6171
Oct	6879.64	3890	-9.9022	11.05	7.29	0.66	4086.7	0.5943
Nov	5310.18	2760	-19.1048	10.10	5.35	0.53	2781.5	0.5247
Déc	46099.25	2230	-23.4469	9.60	5.08	0.53	2388.4	0.5247

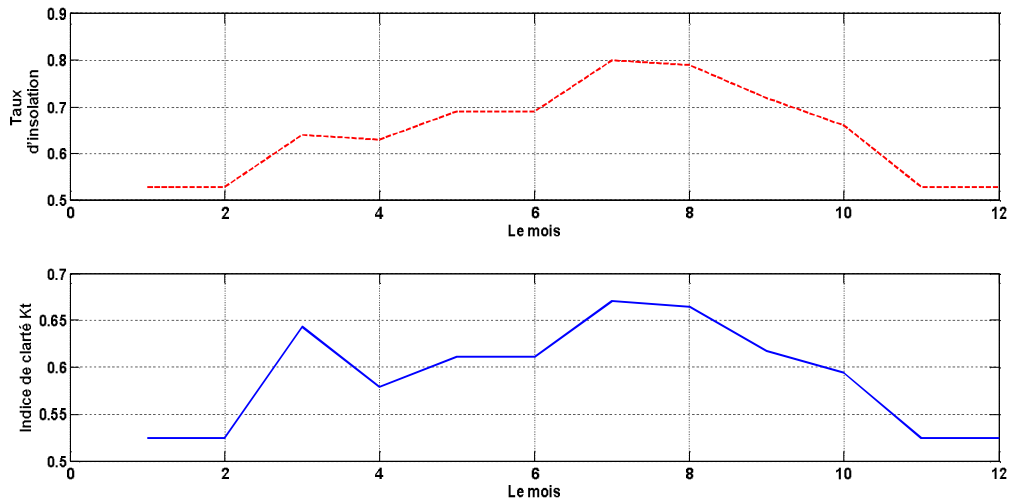


Fig. I-20 Fraction d'insolation mensuelle et l'indice de clarté pour le site d'Oran.

Nous pouvons constater que les deux courbes évoluent presque de la même manière et dépassent le ratio de 0.5 tout au long de l'année, en particulier dans la période d'été. Cela montre que la ville d'Oran contient de fortes radiations.

Les moyennes mensuelles des insolations, durées astronomiques du jour, l'irradiation globale sont représentées dans les deux graphes suivants :

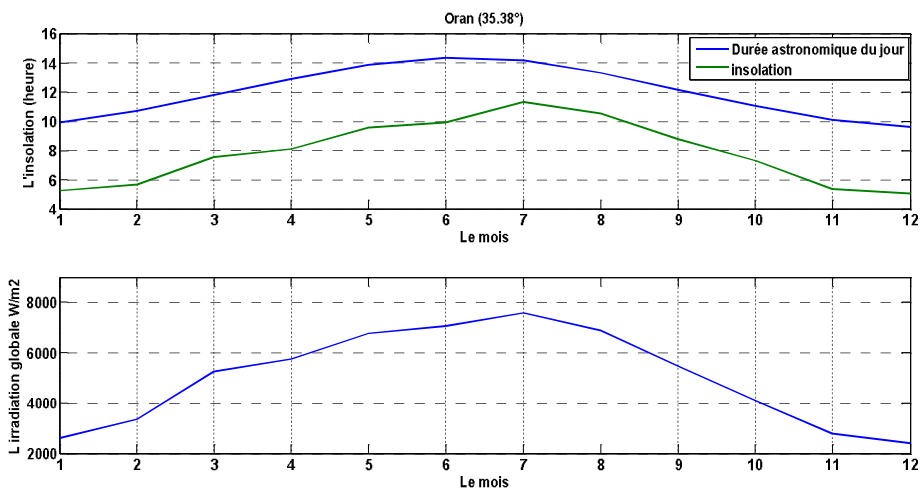


Fig. I-21 Moyennes mensuelles des insolations, durées astronomiques du jour, et de l'irradiation globale

- Les deux courbes de la durée astronomique du jour et de l'insolation évoluent de la même manière. Superposées l'une sur l'autre, elles révèlent une supériorité nette de la durée astronomique du jour sur l'insolation (quatre heures environ). Ce site est caractérisé par un régime à deux saisons principales (hiver et été)