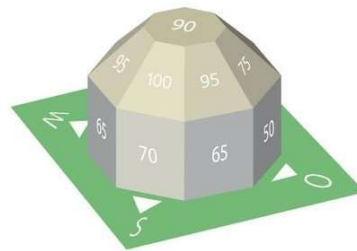


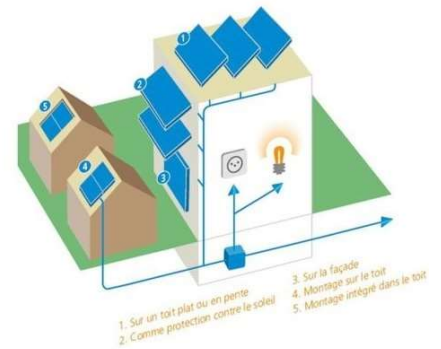
# Chapitre 1

1

*Irradiation solaire*



Orientation préférée:  
Sud-est, sud, sud-ouest  
ou toit plat

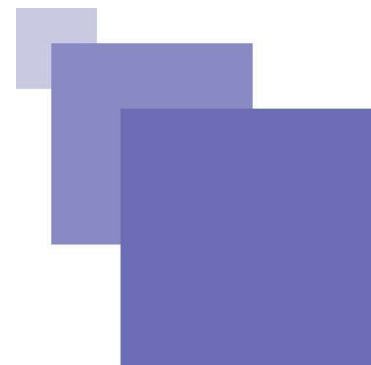


Toutes les inclinaisons possibles,  
de préférence entre 10° et 45°

KARAMOSTEFA-KHELIL CHÉRIFA  
UNIVERSITÉ DE KHEMIS MELIANA

## **Légende**

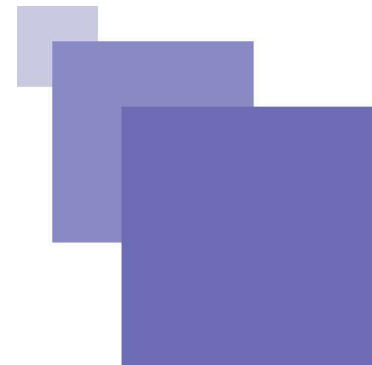
# Table des matières



<b>Objectifs</b>	<b>7</b>
<b>Introduction</b>	<b>9</b>
<b>I - mouvement de la terre autour du soleil</b>	<b>11</b>
A. mouvement de la terre autour du soleil.....	<b>11</b>
<b>II - Définition des repères utilisés</b>	<b>13</b>
A. Orientation et inclinaison d'un plan.....	<b>13</b>
B. Coordonnées horaires.....	<b>14</b>
C. Coordonnées horizontales et angle d'incidence.....	<b>14</b>
D. Temps solaire.....	<b>15</b>
E. Définition et estimation de l'éclairement horaire sur une surface inclinée.....	<b>17</b>
<b>III - Modélisation de l'irradiation solaire</b>	<b>19</b>
A. Définition.....	<b>19</b>
1. Éclairement direct.....	<b>20</b>
2. Éclairement diffus.....	<b>20</b>



# Objectifs



L'objectif de ce chapitre est connaître, les notions de base sur le mouvement de la terre autour du soleil, les coordonnées horaires ont été présentées, les orientations et les inclinaisons des surfaces telles que les façade,. En effet, l'installation d'un générateur photovoltaïque nécessite la maîtrise du calcul de l'éclairement soleil reçu sur les différentes inclinaisons et orientation des modules photovoltaïques



# Introduction

Le Soleil est l'étoile la plus proche de notre planète, Terre. Ces radiations énergétiques sont pratiquement la seule source d'énergie qui influe sur l'atmosphère et le climat sur terre. Le rayonnement solaire est électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0.22 à 10  $\mu\text{m}$ .

L'énergie associée à ce rayonnement solaire est approximativement décomposée comme suit :

- 9% dans la bande des ultra-violets ( $<0,4 \mu\text{m}$ ),
- 47% dans la bande visible ( $0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$ ),
- 44% dans la bande des infrarouges ( $>0,8 \mu\text{m}$ ).

L'atmosphère terrestre reçoit un rayonnement solaire d'une puissance moyenne de 1367  $\text{W}/\text{m}^2$ . Mais l'atmosphère absorbe une partie, de sorte que la quantité d'énergie atteignant la surface terrestre dépasse rarement 1200  $\text{W}/\text{m}^2$ . Ainsi, 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.

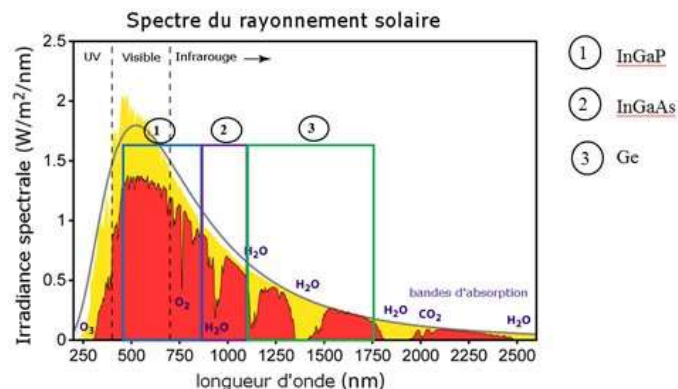


Figure1.1- spectre solaire





# mouvement de la terre autour du soleil

## A. mouvement de la terre autour du soleil

La terre fait un tour sur elle-même en 24h et effectue une révolution complète autour du soleil en 365 jours.

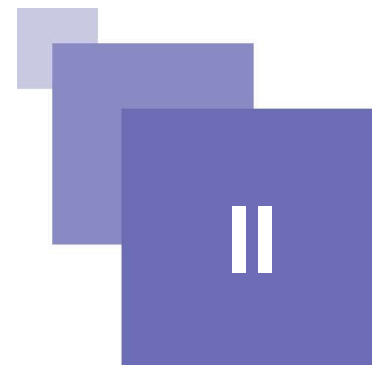
Le mouvement de la Terre autour du soleil s'effectue dans un plan nommé le plan de l'écliptique. L'axe des pôles, autour duquel s'effectue le mouvement de rotation de la Terre, n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique. Le plan équatorial, perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre, fait avec le plan de l'écliptique un angle constant de  $23,45^\circ$  et appelé obliquité .



Figure1.2- Mouvement de la terre autour du soleil



# Définition des repères utilisés



Orientation et inclinaison d'un plan	13
Coordonnées horaires	14
Coordonnées horizontales et angle d'incidence	14
Temps solaire	15
Définition et estimation de l'éclairement horaire sur une surface inclinée	17

Le traitement des données du rayonnement solaire et leurs estimations nécessitent la définition de plusieurs repères et paramètres. Ainsi, la connaissance des mouvements et des positions du soleil pour un observateur terrestre, permet de mettre à jour les principales spécificités d'éclairement et de ressources solaires d'un site. Ces données solaires fixent un certain nombre de contraintes ou d'attitudes à adopter pour la prise en compte des facteurs solaires dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Également, elles facilitent l'utilisation de techniques de contrôle et d'évaluation de l'éclairement sur les différentes façades du bâtiment.

## A. Orientation et inclinaison d'un plan

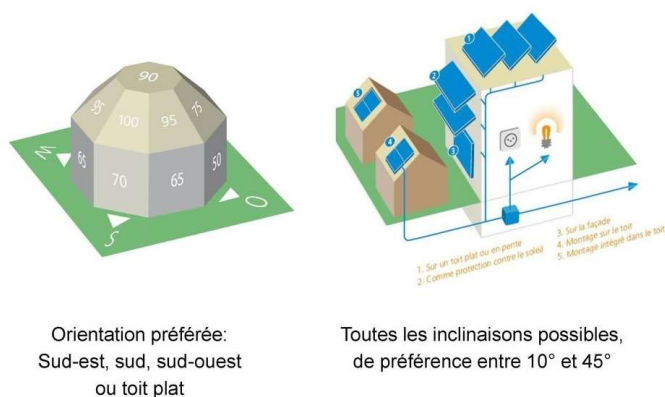
L'orientation et l'inclinaison d'un plan sont caractérisées par les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  définis . La variable  $\alpha$  (Azimute) désigne l'orientation de la surface de telle sorte que:

- $\alpha = -90^\circ$  pour une orientation Est
- $\alpha = 0$  pour une orientation Sud
- $\alpha = 90^\circ$  pour une orientation Ouest
- $\alpha = 180^\circ$  pour une orientation Nord

L'inclinaison correspond à la pente du module par rapport à l'horizontale. Elle se mesure en  $^\circ$  :

Une inclinaison de  $0^\circ$  signifie que le module est à plat.

Une inclinaison de  $90^\circ$  signifie que le module est à la verticale.



Orientation préférée:  
Sud-est, sud, sud-ouest  
ou toit plat

Toutes les inclinaisons possibles,  
de préférence entre 10° et 45°

Figure1.3- Orientation et Inclinaison

## B. Coordonnées horaires

Les coordonnées horaires terrestres permettent de définir sa position dans un système de référence local, constitué par le plan de l'équateur et l'intersection du méridien du lieu avec ce plan. Ainsi, les coordonnées horaires sont exprimées en degré et elles sont appelées angle horaire. L'angle horaire est noté H et il est compté positivement du sud vers l'ouest à partir du méridien.

## C. Coordonnées horizontales et angle d'incidence

La position du soleil à un instant donné est décrite en fonction de l'azimut  $\alpha$ , de l'angle horaire H, la latitude  $\varphi$ , la déclinaison du soleil  $\delta$  et l'élévation h du soleil. L'équation mathématique qui détermine l'élévation h du soleil est donnée par la relation suivante :

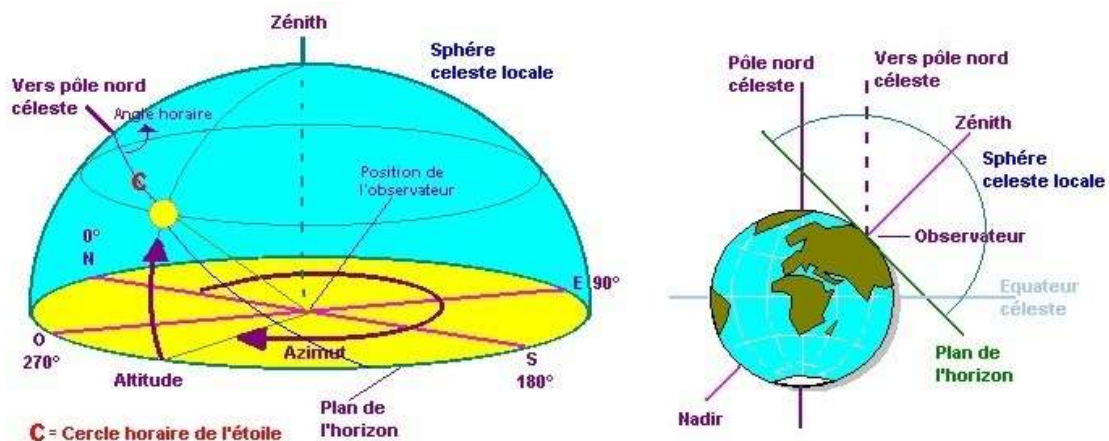


Figure1.4- coordonnées horizontales du soleil

$$\sin(h) = \sin(\delta) * \sin(\varphi) + \cos(\delta) * \cos(\varphi) * \cos(H)$$



$$TU = TSM - \frac{\lambda}{15}$$

$\lambda$  : la longitude du lieu

Le Temps Légal : Le Temps Légal (TL) est déduit du temps universel suivant le système des fuseaux horaires. Généralement, chaque pays adopte l'heure du fuseau horaire correspondant à la longitude de sa capitale. Le décalage du méridien retenu par rapport à Greenwich est noté DE et il est donné par la relation suivante :

$$TL = TU + DE$$

## E. Définition et estimation de l'éclairement horaire sur une surface inclinée

Pour le calcul et les formules ci-dessous, il est supposé que la valeur de l'irradiation solaire durant une heure est égale numériquement avec l'éclairement solaire instantané au milieu de cette heure.

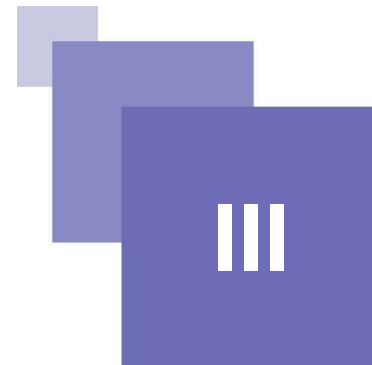
Les composantes de l'éclairement global incident sur une surface inclinée sont les suivantes:

- L'éclairement direct,  $B(\beta)$
- L'éclairement diffus,  $D(\beta)$
- L'éclairement réfléchi par le sol,  $R(\beta)$

Pour une inclinaison de la surface d'un angle  $\beta$ , l'éclairement globale  $G(\beta)$  est la somme de l'éclairement directe, l'éclairement diffus et l'éclairement réfléchi. La formule mathématique de l'éclairement globale est donnée comme suit :

$$\sin(h) = \sin(\delta) * \sin(\varphi) + \cos(\delta) * \cos(\varphi) * \cos(H)$$

# Modélisation de l'irradiation solaire



Le dimensionnement des systèmes photovoltaïques, particulièrement dans les sites isolés, est confronté à la rareté des données météorologiques mesurées. Ainsi et grâce à l'exploitation statistique de certaines grandeurs mesurées, l'estimation du rayonnement solaire à l'aide des modèles mathématiques a permis de combler le manque de données météorologiques.

## A. Définition

Avant d'aborder la modélisation du rayonnement solaire, nous avons jugé utile de définir les paramètres nécessaires pour la modélisation afin de faciliter le suivi de ces modèles.

- Rayonnement hors atmosphère :

L'atmosphère terrestre reçoit un rayonnement solaire à une puissance moyenne de  $1367 \text{ W/m}^2$ . Cette valeur du rayonnement solaire est connue sous la dénomination « constante solaire » qui correspond à une masse atmosphérique nulle.

- Atténuation du rayonnement solaire par l'atmosphère :

Les phénomènes atmosphériques influent sur le rayonnement solaire reçu sur la surface de la Terre. Ces phénomènes sont:

- la nébulosité,
- les poussières,
- l'humidité.
- la couverture du sol.

Ces phénomènes météorologiques causent des variations horaires et quotidiennes, en augmentant ou en diminuant, la valeur du rayonnement solaire.

Ainsi, les différents composants du rayonnement solaire sur une surface au sol sont les suivants :

- Le rayonnement direct est le rayonnement reçu directement du Soleil.
- Le rayonnement diffus 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.

- Le rayonnement solaire réfléchi est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Ce rayonnement dépend de l'albédo du sol, il peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

## 1. Éclairement direct

La composante directe  $B(\beta)$  peut être obtenue en utilisant l'angle de l'incidence  $\theta_s$  et l'angle zénithal  $\theta_{zs}$  comme suit :

$$B(\beta) = B_h(0) * \left( \frac{\cos \theta_s}{\cos \theta_{zs}} \right)$$

## 2. Éclairement diffus

Pour le calcul de la composante diffuse sur la surface inclinée, nous avons utilisé deux modèles différents selon leurs hypothèses faites sur le rayonnement solaire provenant du soleil et de la voûte céleste. Les modèles de Temps et de Klucher considéré non uniforme l'éclairement diffus provenant de la voûte céleste. Par contre, le modèle de Willmott considère l'éclairement diffus comme une somme de l'éclairement diffus provenant de la voûte céleste et le disque solaire.

### a) Modèle de Klucher

Klucher a modifié le modèle de Temps et Coulson en introduisant les conditions des ciels couverts. Le modèle de Klucher considère toujours non uniforme (anisotrope) l'intensité de l'éclairement diffus provenant de la voûte céleste. L'éclairement diffus sur un plan incliné est illustré comme suit :

$$D(\beta) = D_k(0) * \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) * \left[ 1 + F * \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) (1 + F * \cos^2(\theta_z) * \sin^3(\cos(\theta_{zs}))) \right]$$

$$F = 1 - \left[ \frac{D_k(0)}{G_k(0)} \right]^2$$

### b) Modèle de Willmott

Willmott considère isotrope la composante diffuse provenant directement du disque solaire de même que l'irradiation provenant du reste de la voûte céleste. La relation du modèle proposé est la suivante :

$$D(\beta) = D_k(0) * \left[ F(0) * \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \frac{(1 - F(0)) * \cos \theta(0)}{\sin(h(0))} \right]$$



$$F(0) = 1 - \left[ 1 - \frac{D_k(0)}{G_k(0)} \right] * \left( \frac{G_k(0)}{G_{0k}(0)} \right)$$

$h(0)$  : Hauteur du soleil au milieu de l'heure

### c) Éclairement réfléchi

L'éclairement réfléchi sur une surface inclinée est donné par la relation suivante :

$$R(\beta) = \rho * \left( \frac{G_k(0) * (1 - \cos \beta)}{2} \right)$$