

ANNEXE 1

RAYONNEMENT GLOBAL ESTIME RECU PAR UNE SURFACE
D'INCLINAISON QUELCONQUE

GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE

L'énergie solaire est la plus ancienne source d'énergie. Elle est à l'origine de toutes les sources d'énergie dites traditionnelles : bois, tourbe, charbon, gaz naturel, pétrole et énergie du vent.

Le calcul des performances des capteurs solaires nécessite la connaissance du flux solaire incident en fonction du temps, c'est-à-dire en fonction de la position du soleil par rapport à la terre. La terre tourne sur elle-même suivant un axe de rotation possédant une inclinaison constante par rapport au plan de l'écliptique, avec lequel l'équateur fait un angle de $23,45^\circ$. Elle tourne aussi dans le plan de l'écliptique autour du soleil (Fig.A1).

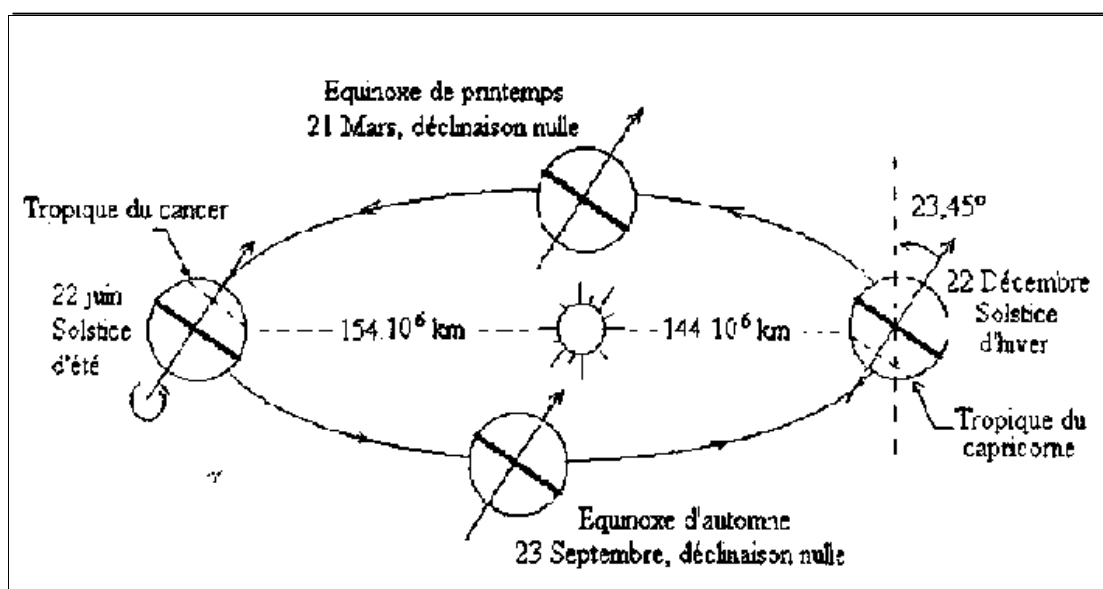


Fig.A1 : Mouvement de la terre autour du soleil

DONNEES GEOMETRIQUES ET ASTRONOMIQUES

- **Latitude** : elle représente l'angle entre le lieu de la terre et le plan de l'équateur, il est compté positivement vers le nord.
- **Déclinaison** : c'est la latitude des points de la terre qui sont atteints par le soleil au zénith (midi solaire).
- **Angle horaire** : c'est l'angle formé par le plan vertical du lieu et le plan méridien passant par le centre du soleil.

POSITION DU SOLEIL

La position du soleil en un lieu, à une date et à un instant quelconque dépend de deux angles :

- **Azimut** : c'est l'angle que fait la projection sur le sol, de la direction du soleil avec la direction du sud, il est mesuré positivement du sud vers l'ouest et nul au midi TSV,
- **Hauteur du soleil** : c'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le sol, il varie de 0° à 90° dans l'hémisphère sud (Nadir) et s'annule au lever et au coucher du soleil et est maximal au midi solaire.

RAYONNEMENT GLOBAL RECU PAR UNE SURFACE INCLINEE

Le rayonnement solaire global « Φ_g » arrivant sur une surface orientée au sud d'inclinaison « β » (Fig.A2) est formé de rayonnement direct et de rayonnement diffus. Il peut être estimé à n'importe quel instant et dans n'importe quel endroit, et peut être déterminé à partir d'un algorithme de calcul, il s'écrit :

$$\Phi_g = I_{dn} + D_c(\beta) + D_s(\beta)$$

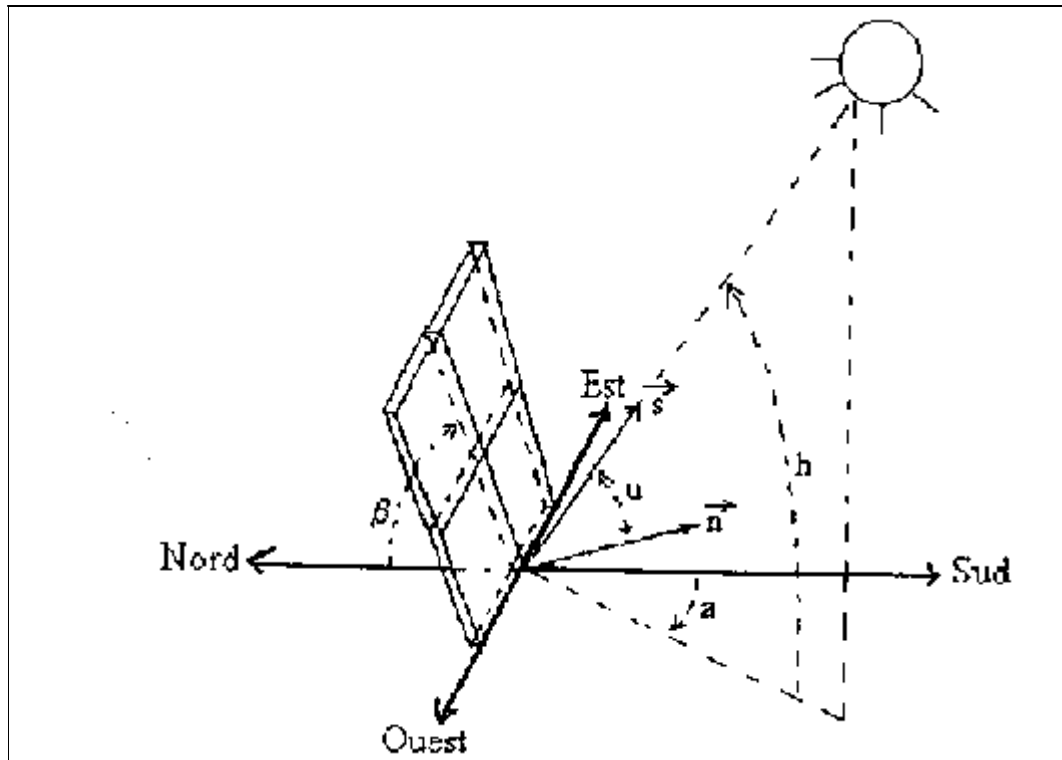


Fig. A2 : Caractéristiques géométriques d'un capteur plan orienté vers le sud (a : azimut)

- I_{dn} : est le rayonnement normal reçu par une surface d'inclinaison « β »
- u : est l'angle que fait la normale à la surface de captation avec la direction des rayons solaires.
- I_d : est le rayonnement direct provenant du ciel (W/m^2), on utilise généralement les formules semi empiriques suivantes :

$$I_{dn} = I_d \cos(u)$$

- Ciel Très Clair (CTC) : $I_d = 1210 \exp\left(-\frac{1}{6 \sin(h+1)}\right)$
- Condition Normales de Ciel Clair (CNCC) :

$$I_d = 1230 \exp\left(-\frac{1}{3,8 \sin(h+1,6)}\right)$$

- Ciel Clair Pollué (CCR) : $I_d = 1260 \exp\left(-\frac{1}{2,3 \sin(h+3)}\right)$

La hauteur du soleil « h » étant en degrés.

- $D_c(\beta)$: est le rayonnement diffus provenant du ciel, reçu par une surface d'inclinaison « β »

$$D_c(\beta) = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} D_h$$

- D_h est le rayonnement diffus provenant du ciel intercepté par une surface horizontale (W/m_2) :

- Ciel très Clair (CTC) : $D_h = \frac{3}{4} 125 \sin(h)^{0,4}$

- Condition Normales de Ciel Clair (CNCC) : $D_h = 125 \sin(h)^{0,4}$

- Ciel Clair Pollué (CCR) : $D_h = \frac{4}{3} 125 \sin(h)^{0,4}$

- $D_s(\beta)$ est le rayonnement diffus provenant du sol capté par une surface horizontale (W/m^2) :

$$D_s(\beta) = \alpha_{sol} \frac{1 - \cos(\beta)}{2} (I_d \sin(h) + D_h)$$

α_{sol} : Est la réflectivité ou albédo du sol, il dépend de la nature de celui-ci. Quelques valeurs moyennes sont résumées dans le tableau (A1).

Nature du sol	Albédo
Sol enneigé	0,70
Sol recouvert de feuilles mortes	0,30
Herbe verte	0,26
Forêt en automne ou champs dorés	0,26
Galets de pierres blanches	0,20
Herbe sèche	0,20
Sol argileux	0,17
Forêt en hiver (arbres conifères sans neige)	0,07
Plan d'eau (soleil haut $h > 30^\circ$) à	0,07

Tab. A1 : Quelques valeurs de l'albédo en fonction de la nature du sol

ANNEXE 2

DIAMETRE HYDRAULIQUE « D_H »

Le diamètre hydraulique est défini comme le rapport de 4 fois la section de passage sur le périmètre mouillé :

$$D_H = \frac{4 \cdot \text{section}}{\text{périmètre}}$$

D'autres formes sont données dans différents ouvrages. Citons A. Bejan (1982) [20], il définit le diamètre hydraulique par la relation suivante :

$$A_T = \frac{4L}{D_H} A_f$$

Où :

A_T est la surface d'échange totale,

A_f est la section transversale,

L est la longueur du conduit,

D_H est le diamètre hydraulique.

C'est-à-dire que le diamètre hydraulique d'un conduit à travers lequel est acheminé un fluide s'écrit :

$$D_H = \frac{4L}{A_T} A_f$$

- Capteur solaire sans ailettes

D'une façon générale, le diamètre hydraulique est égal :

$$D_H = \frac{4 \cdot l \cdot e}{2 \cdot (l + e)} = \frac{2 \cdot l \cdot e}{l + e}$$

D'après l'équation donnée par [20] :

$$A_T = 2(l + e)L \text{ et } A_f = l \cdot e$$

En remplaçant les expressions des surfaces dans l'expression du diamètre hydraulique, on obtient :

$$D_H = \frac{4L}{2 \cdot (l + e)L} (l \cdot e) = \frac{2 \cdot l \cdot e}{l + e}$$

ANNEXE 3

PROPRIETES THERMOPHYSIQUES DE L'AIR

Dans une plage moyenne de température (notre domaine d'application), les propriétés physiques de l'air varient linéairement avec sa température. D'après [29 et 30], elles s'écrivent comme suit (T_f en °C) :

- La conductivité thermique

$$\lambda_f = 0,02624 + 0,0000758(T_f - 27)$$

- La viscosité cinématique

$$\mu_f = (1,983 + 0,00184(T_f - 27)) \cdot 10^{-5}$$

- La capacité calorifique

$$Cp_f = 1005,7 + 0,066(T_f - 27)$$

- La masse volumique

$$\rho_f = 1,1774 - 0,00359(T_f - 27)$$

- La viscosité dynamique

$$v_f = \frac{\mu_f}{\rho_f}$$
