

- Les **angles** sont exprimés en radians
- **Lat** : **Latitude du lieu d'observation**, dans le cas de Roscoff 48,712°N (= 0,850185 Radians)
- **Long** : **Longitude du lieu d'observation**, dans le cas de Roscoff 4,005°E (-0,069901 Radians)
- Les **heures** en TSV (temps solaire vrai). Pour passer de l'heure légale française au TSV on a la relation

$$TSV = UTC + E - 4 \cdot Long \quad (\text{équation 7})$$

Avec UTC(Universal Time Coordinate)= Heure légale – 1 ou 2 heures en fonction du changement d'heure saisonnier, et E l'équation du temps

- E : L'équation du temps :

Le **Bureau des Longitudes** fournit un polynôme pour estimer cet écart au jour Je : nombre de jours entre le jour courant et le 31/12/2012 (début de la période d'ajustement), avec les paramètres ci-contre ajustés pour la période 2013-2023.

Année	365,242	jours
P1	7,363710322	mn
P2	-0,071081264	rd
P3	9,91730258	mn
P4	0,356852721	Rd
P5	0,304565355	mn
P6	0,256165383	rd

$$E = P1 \cdot Année \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{Année} \cdot Je + P2\right) + P3 \cdot \sin\left(\frac{4\pi}{Année} \cdot Je + P4\right) + P5 \cdot \sin\left(\frac{6\pi}{Année \cdot Jour} \cdot Je + P6\right) \quad (\text{équation 8})$$

- h_j^t : **Hauteur du soleil** au jour j , à l'heure t , en radians, estimée par l'équation :

$$h_j^t = \text{ArcSin}(\sin(Lat) \cdot \sin(Dec_j) + \cos(Lat) \cdot \cos(Dec_j) \cdot \cos(Ah_t)) \quad (\text{équation 9})$$

- Dec_j : **Déclinaison au zénith au jour j** , estimée par le polynôme suivant avec $x = j/365$ obtenu par interpolation de la formule de Cambell et Norman :

$$Dec_j = \text{Radians}(-1409,2 \cdot x^6 + 4028,3 \cdot x^5 - 3363,2 \cdot x^4 + 317,51 \cdot x^3 + 401,15 \cdot x^2 + 25,348 \cdot x - 23,172) \quad (\text{équation 10})$$

- Ah_t : **Angle horaire** à l'heure t , donné par l'expression simplifiée suivante :

$$Ah_t = \pi \cdot \frac{(12 - t)}{12} \quad (\text{équation 11})$$

- Az_j^t : **Azimut solaire**, avec l'équation suivante :

$$Az_j^t = \text{Cos}(Dec_j) \cdot \frac{\sin(Ah_t)}{\text{Cos}(h_j^t)} \quad (\text{équation 12})$$

- Ci_j^t : **Coefficient d'incidence** : angle formé par le rayonnement solaire avec la perpendiculaire du plan récepteur. Si on assimile une plage à un plan horizontal on obtient la formule simplifiée :

$$Ci_j^t = \sin(h_j^t)$$

- D_j : **Durée du jour**, estimée par la formule de Duffie et Beckmann (bibliographie) :

$$D_j = \frac{2}{15} \cdot \text{ArcCos}(-\text{Tan}(Dec_j) \cdot \text{Tan}(Lat)) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (\text{équation 13})$$

- RS_j : **Rayonnement solaire extraterrestre** sur une surface normale au rayonnement à la frontière de l'atmosphère. Il dépend de la constante solaire (1367 W/m²) et de la position de la terre au jour j sur son orbite elliptique :

$$RS_j = 1367 \cdot \left(1 + 0,0334 \cdot \text{Cos}\left(2\pi \cdot \frac{j - 94}{365}\right)\right) \quad (\text{équation 14})$$

- Rd_j^t : **Rayonnement indirect** donné par l'expression suivante :

$$Rd_j^t = 125 \cdot \sin(h_j^t)^{0,4} \cdot \frac{1 + \text{Cos}(I_e)}{2} + 211,86 \cdot \sin(h_j^t)^{1,22} \cdot \frac{1 - \text{Cos}(I_e)}{2} \quad (\text{équation 15})$$

avec l l'inclinaison de la surface de la plage ; cette dernière pouvant être assimilée à un plan horizontal, l'expression se simplifie :

$$Rd_j^t = 125. \text{Sin}(h_j^t)^{0,4} \quad (\text{équation 16})$$

- **P : Pression atmosphérique** : 101325 Pa au niveau de la mer. Lorsqu'on dispose de données journalières on peut ajuster plus finement ce paramètre. De même si on a besoin de calculer les PAR de lieux en altitude, en absence d'observations sur la pression, on peut utiliser la formule :

$$P = 103325. (1 - 2,26. 10^{-5}. \text{Altitude})^{5,26} \quad (\text{équation 17})$$

- **Pvs_j : Pression de vapeur saturante** en mmHg, en fonction de la température journalière T_j :

$$Pvs_j = 2,165. (1,098 + \frac{T_j}{100})^{8,02} \quad (\text{équation 18})$$

- **Pvp_j : Pression partielle de vapeur d'eau** qui est fonction de la pression saturante Pvs_j et du taux d'humidité relative de l'air Hr_j , donnée généralement disponible ; dans la cas de Roscoff cette dernière se situe dans une fourchette de moyenne mensuelle entre 84 et 87%. En l'absence de données journalières une interpolation peut donner un ordre de grandeur de Hr_j .

$$Pvp_j = Pvs_j . Hr_j \quad (\text{équation 19})$$

- **Mr_j^t : Masse optique relative**, en fonction de la hauteur du soleil :

$$Mr_j^t = \frac{P}{1033,25. \text{Sin}(h_j^t) + 15198,75. (3,885 + 180. h_j^t/\pi)^{-1,253}} \quad (\text{équation 20})$$

- **Er_j^t : Epaisseur de Rayleigh** déterminant l'atténuation due à la diffusion :

$$Er_j^t = \frac{1}{0,9. Mr_j^t + 9,4} \quad (\text{équation 21})$$

- **Tl_j : facteur de trouble de Linke** déterminé par l'équation :

$$Tl_j = 2,4 + 14,6 . B + 0,4 . (1 + 2B). \text{Ln}(Pvp_j) \quad (\text{équation 22})$$

où B est le coefficient de trouble atmosphérique qui prend une valeur de :

$B = 0,02$ pour un lieu situé en montagne, $0,05$ pour un lieu rural ou en bord de mer, $0,10$ pour un lieu urbain, $0,20$ pour un lieu industriel (atmosphère polluée).