

Mesure de la constante solaire

Par Jean-Marc Vallée et Florence Trouillet

Objectif :

- Dans un premier temps, on cherche à déterminer la quantité d'énergie reçue au sol chaque seconde par unité de surface de la planète Terre.
- Ensuite, on détermine la constante solaire en corrigeant la mesure précédente.
- On rappelle que la constante solaire (pour la Terre) est la puissance rayonnée reçue hors atmosphère par un disque de 1m^2 placé perpendiculairement au rayonnement solaire à une distance de 1 u.a. du Soleil. Elle s'exprime en W.m^{-2} .

Moyen :

On utilise une propriété du rayonnement solaire : son aptitude à chauffer un corps. On base donc le dispositif expérimental sur une méthode calorimétrique permettant de déterminer l'énergie reçue par un cylindre de laiton pour en déduire la puissance rayonnée reçue au sol par m^2 .

Rappels :

- En calorimétrie, on désigne par

$Q = m \times C \times (T_f - T_i)$: la chaleur (énergie) reçue par un corps (en joules)

avec m : la masse du corps en kilogramme

C : la chaleur massique du corps ($C = 418 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ pour le laiton)

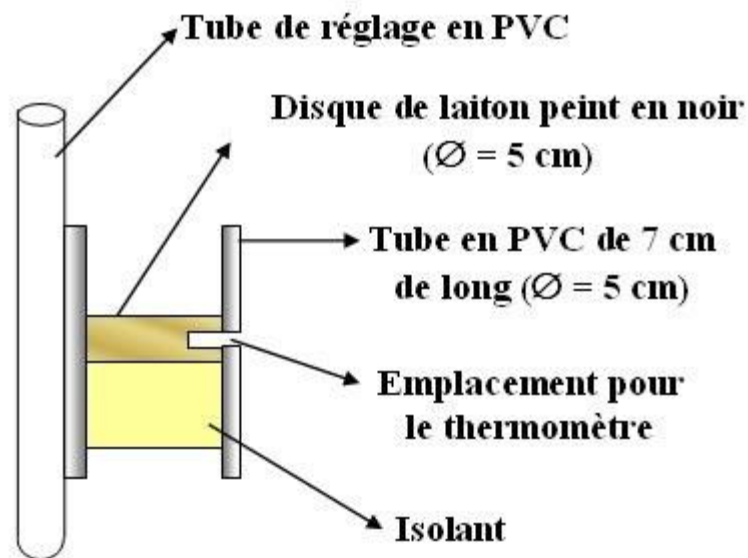
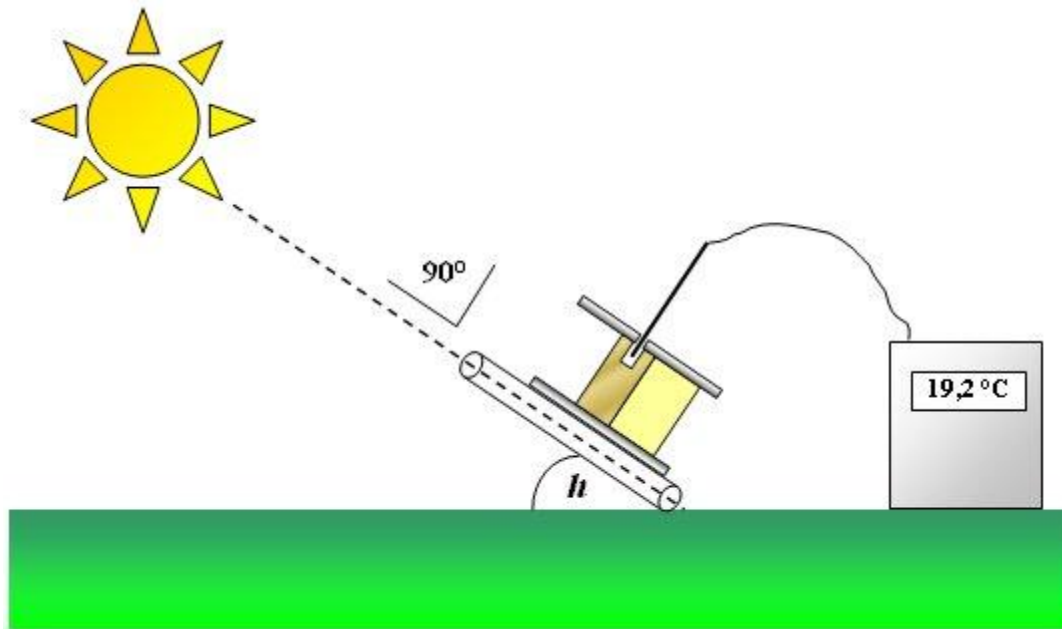
- La puissance thermique reçue en W. m^{-2} est : $P_{th} = \frac{Q}{\Delta t \times S}$ (avec Δt : la durée d'exposition en secondes et S : la surface exposée en m^2)

$$P_{th} = \frac{m \times C \times (T_f - T_i)}{\Delta t \times S}$$

La puissance thermique reçue (en W. m^{-2}) est donc :

Mode opératoire :

- Un cylindre de laiton peint en noir avec une peinture mate placé perpendiculairement au soleil s'échauffe. On effectue une mesure pendant 10 minutes avec le dispositif suivant. Il faut bien aligner le tube de guidage avec le Soleil. Pour éviter les pertes d'énergie par convection et rayonnement, il faut poser du cellophane transparent (type film alimentaire) sur l'extrémité avant du tube en PVC. Pour éviter les fuites par conduction, il est indispensable d'isoler la face arrière du disque de laiton (par de la mousse de polyuréthane ou du polystyrène expansé)



Résultats :

$m = 157,5 \text{ g}$

$C = \text{chaleur massique du laiton} = 418 \text{ J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$S = \pi R^2 = 3,14 \times (2,5 \cdot 10^{-2})^2 = 1,963 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$\Delta t = 10 \text{ minutes} = 600 \text{ secondes}$

$m \text{ (g)}$	$\Delta t \text{ (s)}$	$T_i \text{ (}^\circ\text{C)}$	$T_f \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\Delta T \text{ (K)}$	$P_{th} \text{ (W/m}^2\text{)}$
157,5	600	20,2	30	9,8	547,6
157,5	600	23,1	33	9,9	553,2
157,5	600	23,5	35,4	11,9	665,0
157,5	600	22	34,1	12,1	676,2

P_{th} est la puissance rayonnée par le Soleil reçue au sol.

Calcul de la constante solaire :

- Avant d'arriver au sol, le rayonnement solaire a été en partie absorbé par l'atmosphère. Cette absorption dépend de l'épaisseur de l'atmosphère traversée et de pureté du ciel (présence d'humidité, de poussières ...). L'épaisseur de l'atmosphère traversée dépend de l'inclinaison des rayons solaires qui est donnée par la distance zénithale z .
 $z = 90^\circ - h$ avec h : hauteur du Soleil sur l'horizon en degrés ($-90^\circ < h < +90^\circ$)
- Le tableau suivant permet de calculer la puissance reçue par unité de surface hors atmosphère connaissant la puissance reçue par unité de surface terrestre. Il est tiré de "18 fiches d'astrophysique (classe de première S) édité par CLEA-Belin.

Distance zénithale	70°	60°	50°	40°	30°	25°
Ciel pur (bleu foncé limpide)	2,50	2,00	1,70	1,50	1,35	1,30
Ciel moyen	4,2	3,5	2,6	2,1	1,8	1,5
Ciel laiteux	5,3	4,3	3,2	2,5	2,2	2,0

- Dans les conditions de l'expérience :

$h = 20^\circ$ (donc $z = 70^\circ$) + ciel pur => correctif = x 2.5

$h = 30^\circ$ (donc $z = 60^\circ$) + ciel pur => correctif = x 2

P _{th} (W/m²)	h (°)	Correctif	F (W/m²)	Écart relatif (%)
547,6	20	2,5	1369,1	0,1
553,2	20	2,5	1383,1	1,1
665,0	30	2	1330,0	2,8
676,2	30	2	1352,4	1,1

On retrouve des valeurs proches de la valeur généralement retenue :
constante solaire $F \approx 1368 \text{ W.m}^{-2}$.

Cette mesure peut être réalisée par des satellites situés dans la partie supérieure de l'atmosphère. On a longtemps cru que cette valeur était pratiquement constante (d'où le nom de constante solaire). En fait, elle varie légèrement. Le [projet PICARD lancé par le CNES](#) a pour objectif d'étudier les variations de la constante solaire (appelée maintenant irradiance totale du Soleil) afin de mieux comprendre les relations entre la variabilité du Soleil et le climat terrestre.

Pour aller plus loin ...

- **Puissance rayonnée par le Soleil**

On utilise la constante solaire (arrondie à 1400 W.m^{-2}) pour calculer la puissance totale rayonnée par le Soleil.

$L_0 \approx 1,4 \cdot 10^3 \times 4 \pi d^2$ avec $d = 150 \cdot 10^9$ mètres = distance moyenne Terre-Soleil

$$L_0 \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

- **Température de surface du Soleil**

La puissance émise par 1 m^2 de surface solaire (appelée émittance M) est :

$$M = L_0 / (4\pi \times R_s^2) = 6,5 \cdot 10^7 \text{ W.m}^{-2}$$

En considérant le Soleil comme un corps noir, on a : $M = \sigma \times T_s^4$ (loi de Stefan-Boltzmann avec $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$)

$$\text{Donc } T_s^4 = (M / \sigma)^{1/4} = 5800 \text{ K}$$

- **Puissance rayonnée reçue par la Terre**

Si la Terre était un disque plat exposé perpendiculairement à la direction du Soleil, chaque mètre carré recevrait à chaque seconde environ 1400 W .

Mais la Terre est en fait une sphère. Chaque mètre carré de surface terrestre reçoit donc $1400 / 4 = 365 \text{ W}$. En effet, l'aire d'un disque est égale à πR^2 alors que l'aire d'une sphère est donnée par la formule : $4 \pi R^2$.

Le rayon moyen de la Terre est de $6371 \text{ Km} = 6,371 \cdot 10^6 \text{ m}$. L'aire de la sphère terrestre correspond à $5,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$.

La puissance rayonnée reçue par la Terre est donc : $P_{\text{reçue}} = 5,1 \cdot 10^{14} \times 365$

$$P_{\text{reçue}} = 1,86 \times 10^{17} \text{ W}$$