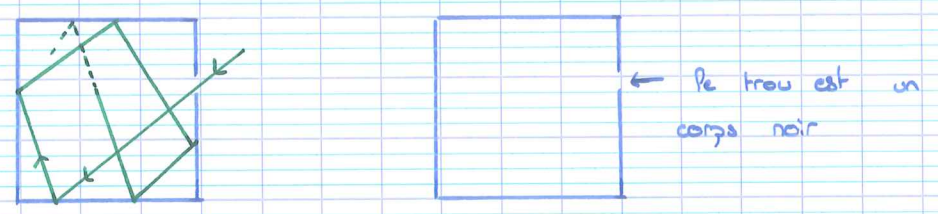


## CHAPITRE 8 : RAYONNEMENT THERMIQUE

### I. Lois du rayonnement thermique

Corps noir : En TP, pour faire un corps noir on peut faire un petit trou dans une boîte



↳ La lumière entre mais a peu de chance de ressortir.

### 4. Exemples

\* Prenons un objet à  $T_{amb} \approx 300\text{ K}$

↳ d'après la loi de Wien :

$$\lambda_{max} T = 3000 \text{ } \mu\text{m.K}$$

$$\text{A.W. } \lambda_{max} = \frac{3000}{300} = 10 \text{ } \mu\text{m. (infrarouge)}$$

Application : caméra thermique

\* Corps humain à  $T = 310\text{ K}$

Surface de peau

↳ d'après la loi de Stefan :

S d'un humain :

$$\varphi_e = \sigma T^4 = 523 \text{ W.m}^{-2}$$

$$S \approx 2\text{ m}^2$$

$$\Phi_e = S\varphi_e \approx 1\text{ kW}$$

En pratique, ce flux est compensé par un flux reçu.

D'après la loi de Stefan,

$$\varphi_{\text{reçu}} = \sigma \bar{T}_{\text{amb}}^4$$

$$\text{donc } \varphi_{\text{net}} = \sigma (\bar{T}^4 - \bar{T}_{\text{amb}}^4)$$

$$\text{A.N. } \bar{T} = 310 \text{ K et } \bar{T}_{\text{amb}} = 300 \text{ K.}$$

$$\varphi_{\text{net}} = 105 \text{ W.m}^{-2}$$

Souvent, on linéarise ce calcul: ( $\bar{T}$  est voisin de  $\bar{T}_{\text{amb}}$ ).

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{net}} &= \sigma (\bar{T}^4 - \bar{T}_{\text{amb}}^4) \\ &= \sigma (\bar{T} - \bar{T}_{\text{amb}}) \times 4 \bar{T}_{\text{amb}}^3 \\ &\approx 115 \text{ W.m}^{-2} \end{aligned}$$

Par analogie avec la loi de Newton, on peut poser

$$h_{\text{rayonnement}} = 4\sigma \bar{T}_{\text{amb}}^3$$

Explication de la linéarisation:

$$\begin{aligned} * \bar{T}^4 - \bar{T}_{\text{amb}}^4 &= (\bar{T} - \bar{T}_{\text{amb}}) \underbrace{(\bar{T}^3 + \bar{T}^2 \bar{T}_{\text{amb}} + \bar{T} \bar{T}_{\text{amb}}^2 + \bar{T}_{\text{amb}}^3)}_{4 \bar{T}_{\text{amb}}^3 \text{ car } \bar{T} \sim \bar{T}_{\text{amb}}} \\ &\approx (\bar{T} - \bar{T}_{\text{amb}}) \times 4 \bar{T}_{\text{amb}}^3 \end{aligned}$$

$$* \bar{T} = \bar{T}_{\text{amb}} + \Delta \bar{T} = \bar{T}_{\text{amb}} \left( 1 + \frac{\Delta \bar{T}}{\bar{T}_{\text{amb}}} \right)$$

$$\begin{aligned} \bar{T}^4 &= \bar{T}_{\text{amb}}^4 \left( 1 + \frac{\Delta \bar{T}}{\bar{T}_{\text{amb}}} \right)^4 \approx \bar{T}_{\text{amb}}^4 \left( 1 + \frac{4\Delta \bar{T}}{\bar{T}_{\text{amb}}} + o\left(\frac{\Delta \bar{T}}{\bar{T}_{\text{amb}}}\right) \right) \\ &\approx \bar{T}_{\text{amb}}^4 + 4 \bar{T}_{\text{amb}}^3 \Delta \bar{T} \end{aligned}$$

$$\text{donc } \bar{T}^4 - \bar{T}_{\text{amb}}^4 = 4 \bar{T}_{\text{amb}}^3 (\bar{T} - \bar{T}_{\text{amb}})$$



## \* Soleil

(cf. FIGURE 2)

→ Le Soleil se comporte vraiment comme un corps noir.

$$\lambda_{\max} \approx 0,5 \mu\text{m}.$$

D'après la loi de Wien :

$$\lambda_{\max} \bar{T}_s = 2898 \mu\text{mK}$$

$$\text{donc } \bar{T}_s = \frac{2898}{0,5} \approx 5800 \text{ K. (température de surface).}$$

$$P_s = \Phi_s = \psi_s S$$

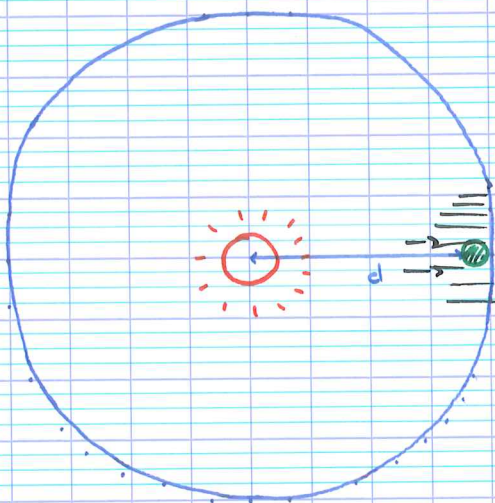
←  
puissance émise  
par le Soleil

$$P_s = \sigma \bar{T}_s^4 \times 4\pi R_s^2$$

$$= 3,91 \cdot 10^{26} \text{ W}$$

$$\text{si } R_s = 696 \cdot 10^6 \text{ m}$$

Calculons le flux surfacique qui arrive sur Terre.



$$\psi_s = \frac{P_s}{4\pi d^2}$$

$$\text{A.N. } \psi_s = 1378 \text{ W.m}^{-2}$$



## II. Effet de serre

### 1. Principe : serre d'horticulture

(cf. FIGURE 3)

On négligera tout autre phénomène que le rayonnement.

On se place dans chaque cas à l'équilibre.

① Plaque noire

$$\text{En RS : } \varphi_s S = \varphi_e S$$

$$\text{or } \varphi_e S = \sigma T^4 S$$

$$\text{donc } \varphi_s = \sigma T^4$$

$$\text{donc } T = \left( \frac{\varphi_s}{\sigma} \right)^{1/4} = 320 \text{ K} \\ \approx 47^\circ \text{C}$$

② Plaque vitrée

La vitre est transparente à  $\varphi_s$ , concentrer dans le visible et dans le proche infrarouge.

La vitre absorbe le rayonnement infrarouge émis par la plaque (infrarouge d'après Wien) au vu de sa température.

La vitre chauffe et rayonne.

$$\Sigma \text{ plaque : } \varphi_s + \varphi_v = \varphi_p$$

$$\Sigma \text{ vitre : } \varphi_p = 2\varphi_v$$

$$\text{donc } \varphi_s + \frac{1}{2}\varphi_p = \varphi_p$$

$$\text{donc } \varphi_p = 2\varphi_s$$

$$\text{or } \varphi_p = \sigma T^4 \quad (\text{on considère la plaque comme un corps noir}).$$

$\varphi_p$ : plaque

$\varphi_v$ : vitre

$$\text{donc } \sigma \bar{T}^4 = 2\varphi_s$$

$$\text{donc } \bar{T} = \left( \frac{2\varphi_s}{\sigma} \right)^{1/4} = 381 \text{ K} \approx 108^\circ \text{C}$$

$$\text{et } \varphi_v = \frac{\varphi_p}{2} = \varphi_s, \quad \sigma \bar{T}_v^4 = \varphi_s$$

$$\text{donc } \bar{T}_v = \left( \frac{\varphi_s}{\sigma} \right)^{1/4}$$

③ Plaque double vitrée.

$$\Sigma = \text{plaque} : \quad \varphi_s + \varphi_{v_1} = \varphi_p$$

$$\Sigma = \text{vitre 1} : \quad \varphi_p + \varphi_{v_2} = 2\varphi_{v_1}$$

$$\Sigma = \text{vitre 2} : \quad \varphi_{v_1} = 2\varphi_{v_2}$$

$$\Sigma \text{ global} : \quad \varphi_s = \varphi_{v_2}$$

$$\text{donc } \varphi_{v_1} = 2\varphi_s \quad \text{et} \quad \varphi_p = 3\varphi_s$$

$$\bar{T} = \left( \frac{3\varphi_s}{\sigma} \right)^{1/4}$$

2. Température du globe terrestre sans atmosphère  
(cf. FIGURE 4)

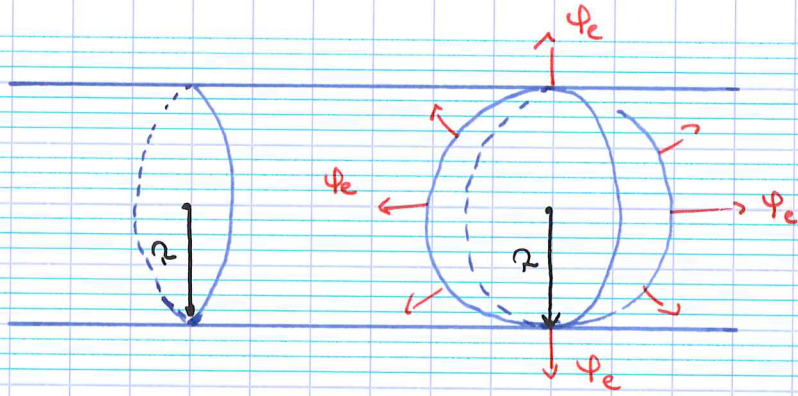
On calcule  $\bar{T}_{\text{moyen}}$  sur le globe terrestre.

On suppose la température uniforme.

$$\text{Puissance reçue} : \quad \mathcal{P}_r = \varphi_s \times \pi R^2$$

$$\text{Puissance émise} : \quad \mathcal{P}_e = \varphi_e \times 4\pi R^2$$





A l'équilibre thermique (RS) :

$$\varphi_s \pi R^2 = \varphi_e 4\pi R^2$$

Stefan  $\left\{ \begin{array}{l} \varphi_e = \frac{\varphi_s}{4} \\ \sigma T^4 = \varphi_s/4 \end{array} \right.$  donc  $T = \left( \frac{\varphi_s}{4\sigma} \right)^{1/4}$

$$\varphi_s' = \varphi_s/4 \approx 342 \text{ W.m}^{-2}$$

Un meilleur calcul tient compte de l'albédo.



L'albédo A est la fraction du rayonnement reçu renvoyée vers l'espace.

$$A = 0,30$$

$$\mathcal{P}_{\text{obs}} = (1-A)\mathcal{P}_r$$

RS :  $\mathcal{P}_{\text{obs}} = \mathcal{P}_e$   
 $\varphi_s \pi R^2 (1-A) = \varphi_e 4\pi R^2$

$$\varphi_e = \frac{\varphi_s}{4} (1-A)$$

donc  $T = \sqrt[4]{\frac{\varphi_s (1-A)}{\sigma}} \approx 255 \text{ K} \approx -18^\circ \text{C}$



### 3. Température du globe terrestre avec atmosphère (cf. FIGURE 5)

L'atmosphère joue le rôle d'une vitre, comme dans II.1.

Hypothèse : albédo dû au sol seul.

On introduit  $\beta$  le coefficient d'absorption du rayonnement  $\varphi_{eT}$ .  
 $\beta = 0,89$ .

$$\text{Sol} : (1-A)\varphi_s' + \varphi_{e\text{atm}} = \varphi_{eT}$$

$$\text{Atmosphère} : \beta\varphi_{eT} = 2\varphi_{e\text{atm}}$$

$$\Sigma (1-A)\varphi_s' = \varphi_{e\text{atm}} + (1-\beta)\varphi_{eT}$$

On élimine  $\varphi_{e\text{atm}}$  :

$$\text{donc } (1-A)\varphi_s' = (1-\beta/2)\varphi_{eT}$$

$$\text{donc } \varphi_{eT} = \frac{(1-A)}{(1-\beta/2)} \varphi_s'$$

D'après la loi de Stefan :  $\varphi_{eT} = \sigma T^4$ .

$$\text{donc } T = \left( \frac{1-A}{1-\beta/2} \times \frac{\varphi_s'}{\sigma} \right)^{1/4} = 303 \text{ K} = 295 \text{ K} \\ \approx 30^\circ \text{C} \approx 29^\circ \text{C} \\ \underbrace{\hspace{10em}}_{\text{A.V. } \beta=0}$$

### 4. Bilan thermique terrestre détaillé.

(cf. FIGURE 6 et TABLE 1).

Les effets non radiatifs ( $\varphi_{nr}$ ) ne sont pas négligeables.

$$A = (\varphi_{rs} + \varphi_{ra}) / \varphi_s$$

$$= \frac{77 + 30}{342} \approx 0,31.$$

$$\beta = \frac{\varphi_{ia}}{\varphi_i} = \frac{350}{390} = 0,89.$$

Vérification

	absorbé	=	perdu
sol :	$\varphi_{as} + \varphi_s$	=	$\varphi_i + \varphi_{nr}$
	168 + 324	=	390 + 102

Le réchauffement climatique est dû au fait que l'atmosphère est devenue plus absorbante à l'infrarouge. (on augmente  $\beta$ ).