

TRANSPORT D'ENERGIE
RAYONNEMENT THERMIQUE

Généralités

❖ Le comportement d'un corps

Dès que $T > 0 \text{ K} \Rightarrow$ Emissance $M(T, \lambda)$

◆ Rayonnement électromagnétique

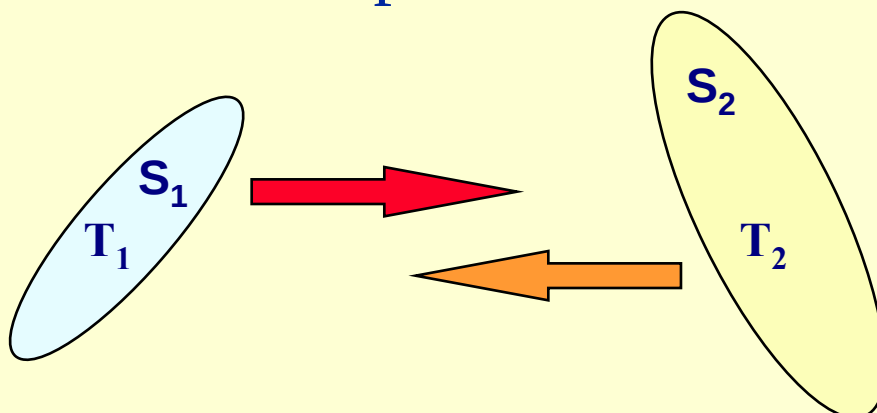
$$0,3 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 1000 \mu\text{m}$$

← Infrarouge →

✎ Contenu énergétique

$$E_{ph} = \frac{\hbar C_o}{n\lambda}$$

◆ Source et récepteur



TRANSPORT D'ENERGIE
RAYONNEMENT THERMIQUE

Définitions des grandeurs

❖ Grandeur monochromatique

◆ Relative à un λ

❖ Grandeur totale

◆ Relative à l'ensemble du spectre

$$\int_0^{\infty} () \cdot d\lambda$$

❖ Grandeur directionnelle

◆ Relative à une direction Ox

❖ Grandeur hémisphérique

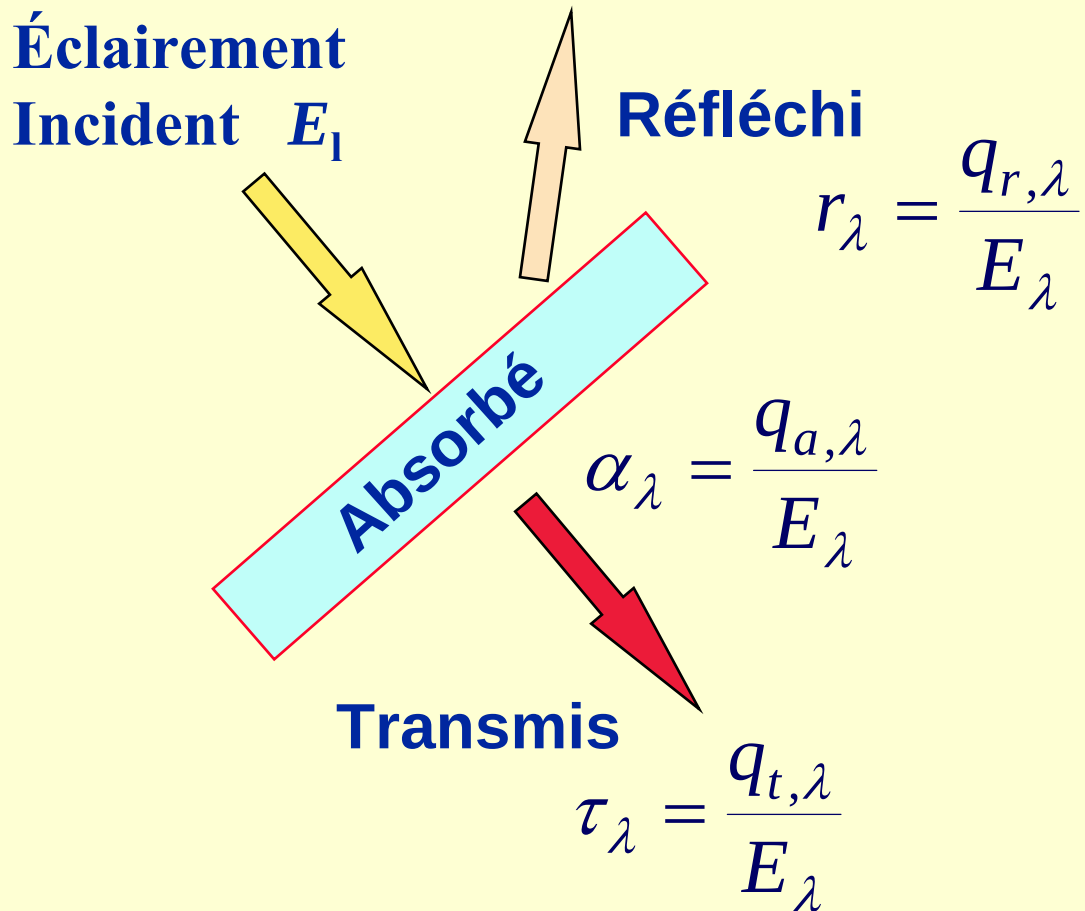
◆ Relative à l'ensemble des directions

$$\int_0^{2\pi sr} () \cdot d\Omega$$



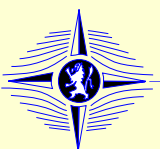
TRANSPORT D'ENERGIE
RAYONNEMENT THERMIQUE

Récepteur



❖ Bilan énergétique

$$\alpha_\lambda + \tau_\lambda + r_\lambda = 1$$

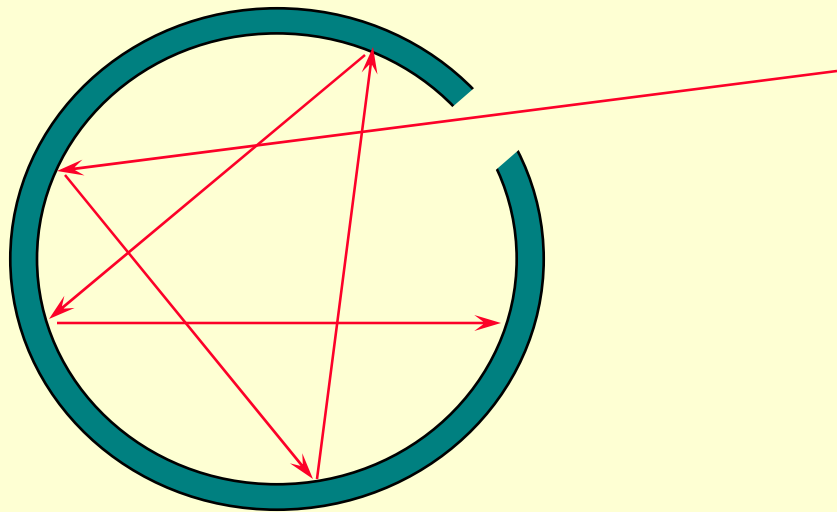


TRANSPORT D'ENERGIE
RAYONNEMENT THERMIQUE

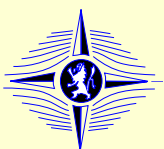
Récepteur

❖ Propriétés

- ◆ Corps diathermane: $\tau_\lambda = 1$
- ◆ Corps athermane: $\tau_\lambda = 0$
- ◆ Corps noir: $\alpha_\lambda = 1$



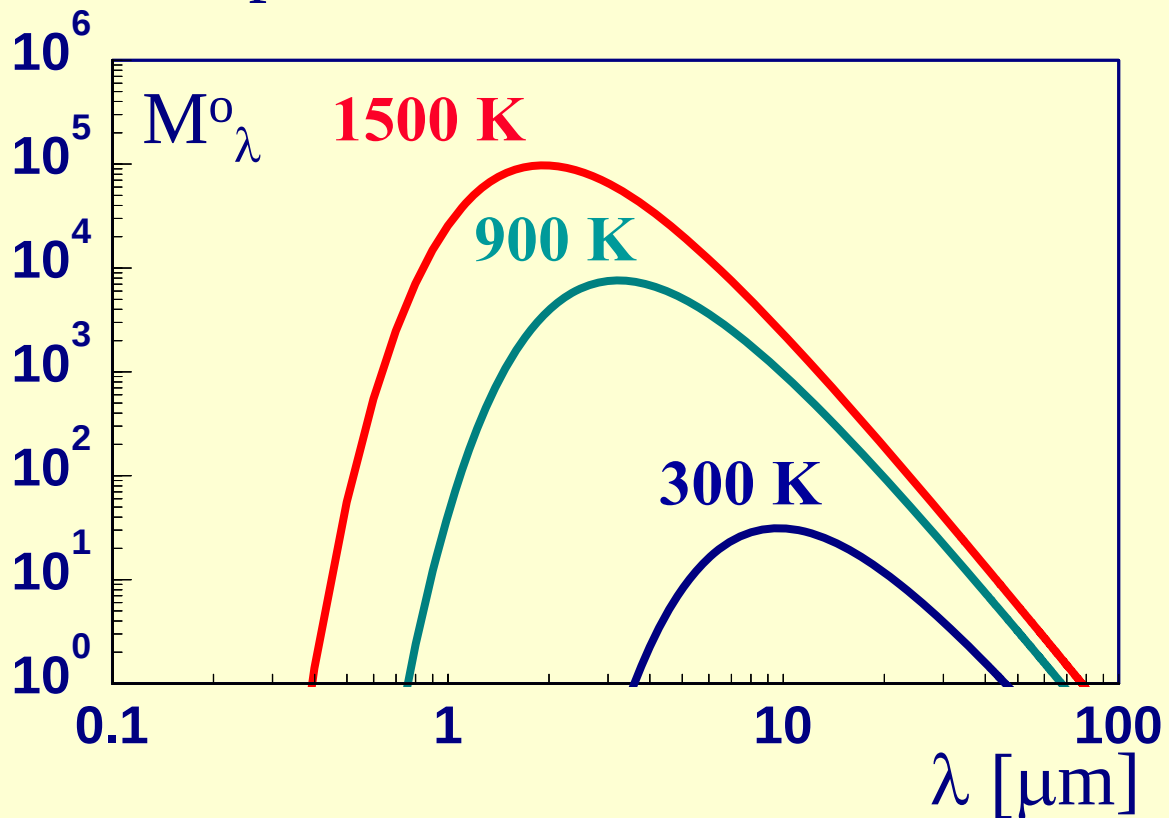
- ◆ Corps gris $\alpha_\lambda = \alpha$



TRANSPORT D'ENERGIE
RAYONNEMENT THERMIQUE

L'émetteur

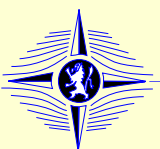
❖ Le corps noir



◆ Stefan-Boltzmann

$$M^o = \int_0^{\infty} M_{\lambda}^o d\lambda = \sigma T^4$$

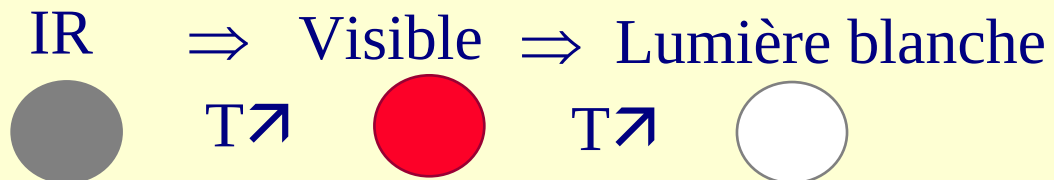
$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ [W / m}^2 \cdot \text{K}^4]$$



TRANSPORT D'ENERGIE
RAYONNEMENT THERMIQUE

L'émission

❖ Échauffement d'un matériau



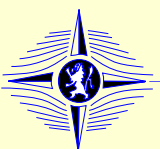
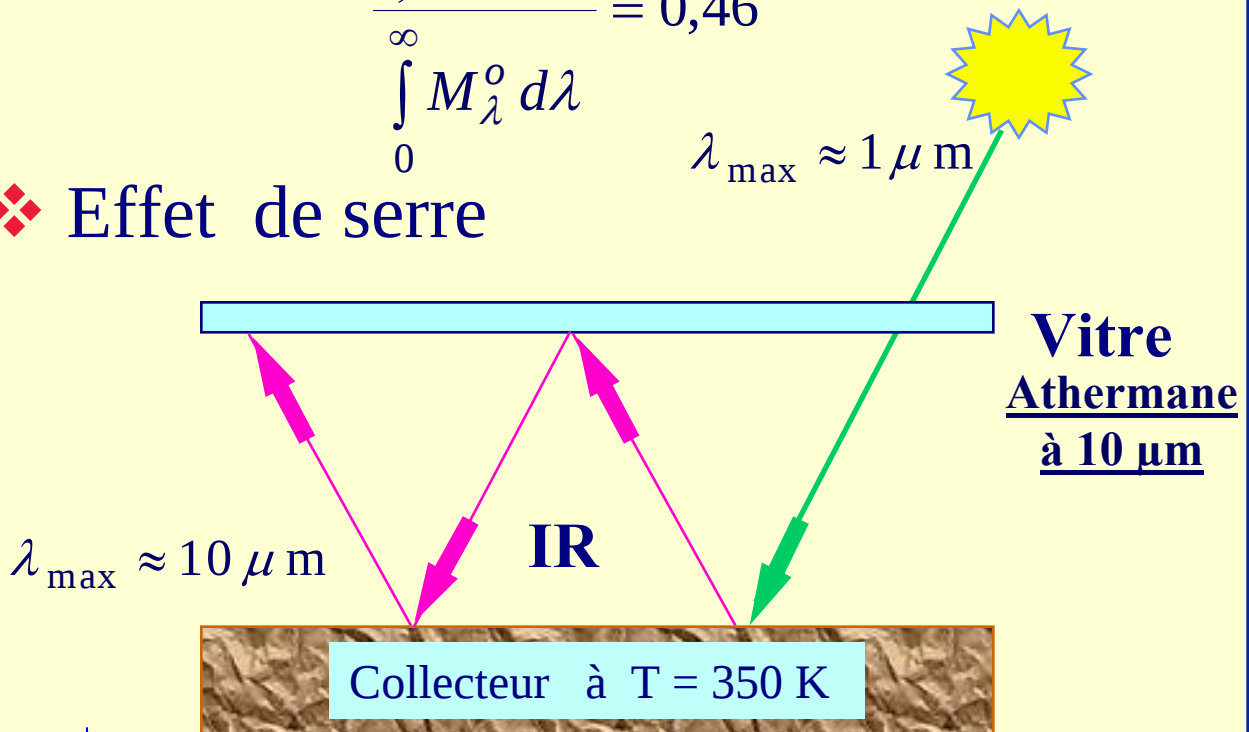
❖ Énergie solaire dans le visible

◆ $0,4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 0,8 \mu\text{m}$

$$\frac{\int_{0,4}^{0,8} M_{\lambda}^o d\lambda}{\int_0^{\infty} M_{\lambda}^o d\lambda} = 0,46$$

$\lambda_{\text{max}} \approx 1 \mu\text{m}$

❖ Effet de serre



TRANSPORT D'ENERGIE
RAYONNEMENT THERMIQUE

L'émission

❖ L'émissivité

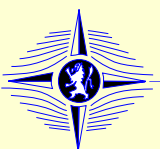
$$0 \leq \varepsilon_{\lambda} = \frac{M_{\lambda}}{M_{\lambda}^o} \leq 1$$

◆ Loi de Kirchhoff $\alpha_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda}$

◆ Corps réel $\varepsilon(T, \lambda, \vartheta)$

◆ Corps gris $\alpha = \varepsilon$

◆ Corps noir $\alpha = \varepsilon = 1$

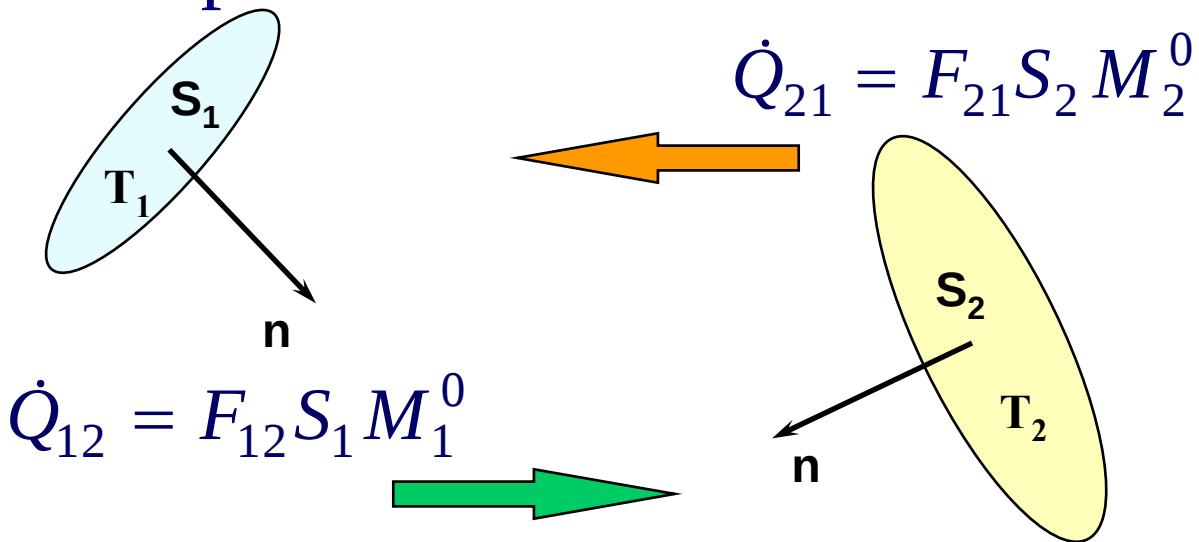


TRANSPORT D'ENERGIE

Rayonnement Thermique

Echange thermique

❖ Corps noirs



◆ Réciprocité: Facteurs de forme

$$F_{12} S_1 = F_{21} S_2$$

◆ Flux de chaleur échangé

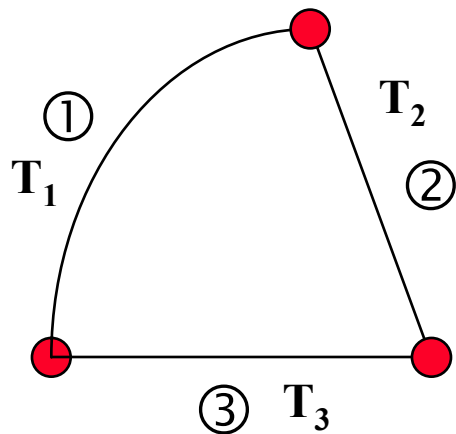
$$\Delta \dot{Q}_{12} = F_{12} S_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$



TRANSPORT D'ENERGIE

Rayonnement Thermique

Cavité de corps noirs



$$\sum_{j=1}^N F_{ij} = 1$$

❖ Flux émis par ①

$$\dot{Q}_1 = F_{11}\dot{Q}_1 + F_{12}\dot{Q}_1 + F_{13}\dot{Q}_1$$

❖ Flux reçu par ①

$$\dot{Q}_1^r = F_{11}\dot{Q}_1 + F_{21}\dot{Q}_2 + F_{31}\dot{Q}_3$$

❖ Flux net échangé par ①

$$\begin{aligned}\dot{Q}_1^{net} &= F_{12}\dot{Q}_1 - F_{21}\dot{Q}_2 + F_{13}\dot{Q}_1 - F_{31}\dot{Q}_3 \\ &= F_{12}S_1M_1^0 - F_{21}S_2M_2^0 + F_{13}S_1M_1^0 - F_{31}S_3M_3^0\end{aligned}$$

$$\dot{Q}_1^{net} = F_{12}S_1\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) + F_{13}S_1\sigma \cdot (T_1^4 - T_3^4)$$

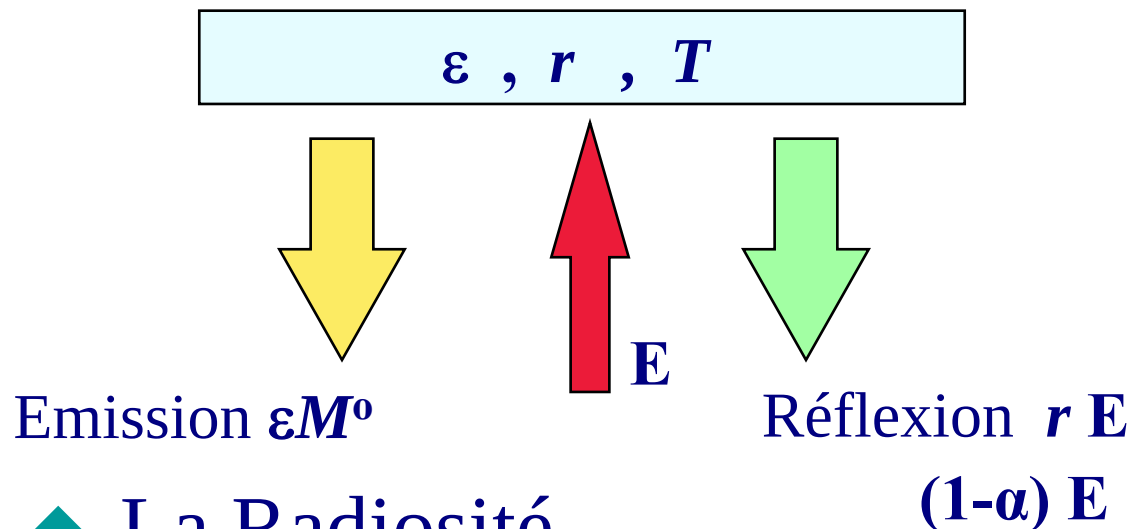


TRANSPORT D'ENERGIE

Rayonnement Thermique

Echange thermique

❖ Corps gris



◆ La Radiosité

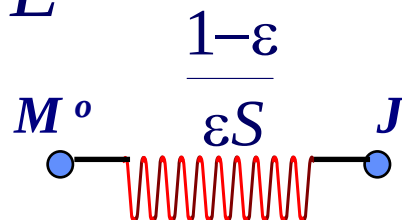
$$J = \varepsilon M^{\circ} + rE$$

$$J = \varepsilon M^{\circ} + (1-\varepsilon)E \Rightarrow J - E = \varepsilon M^{\circ} - \varepsilon E$$

◆ Flux de chaleur perdu ($\alpha=\varepsilon$)

$$q_L = \varepsilon M^{\circ} - \alpha E = J - E$$

$$\dot{Q}_L = \frac{\varepsilon S}{1-\varepsilon} (M^{\circ} - J)$$

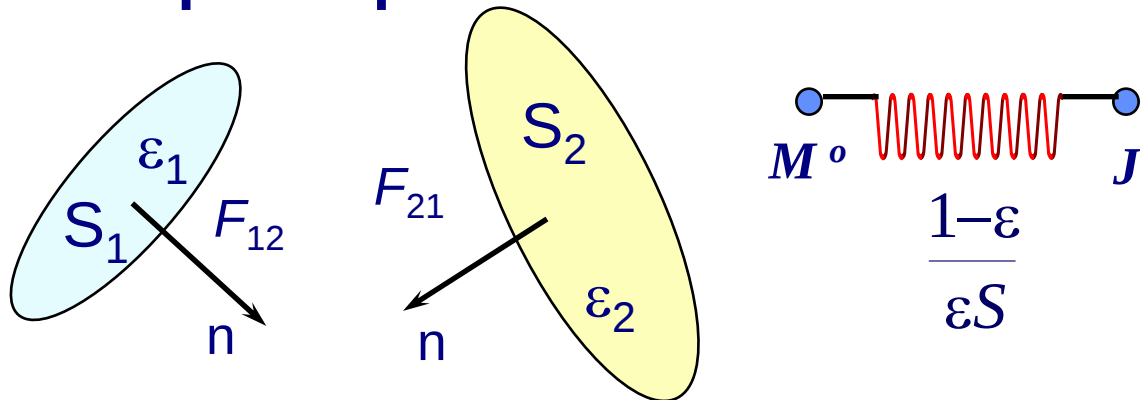


TRANSPORT D'ENERGIE

Rayonnement Thermique

Schémas analogiques

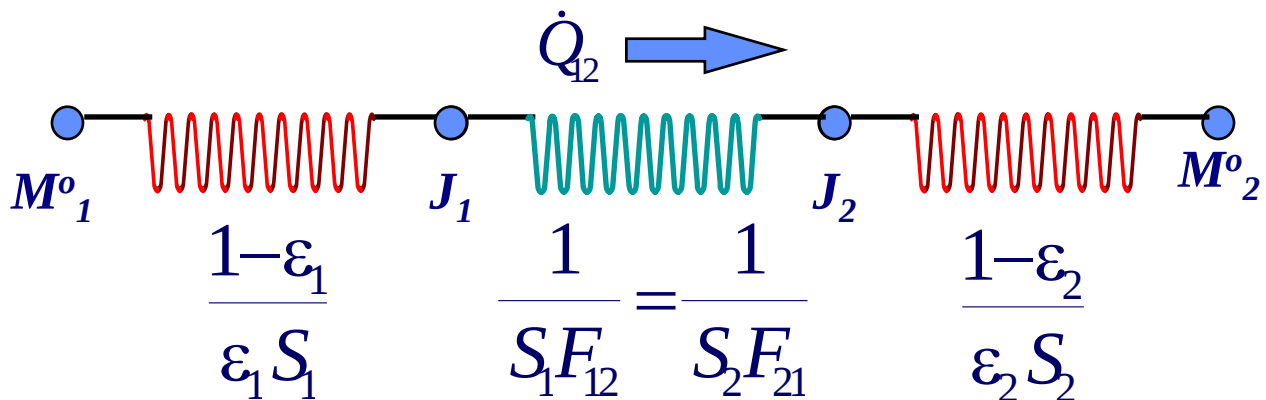
❖ Flux perdu par S



❖ Flux échangé entre S_1 et S_2

$$\dot{Q}_{12} = S_1 F_{12} (J_1 - J_2)$$

❖ Schéma électrique final



★ M° = Potentiel et $\dot{Q}_{12}$ = Courant

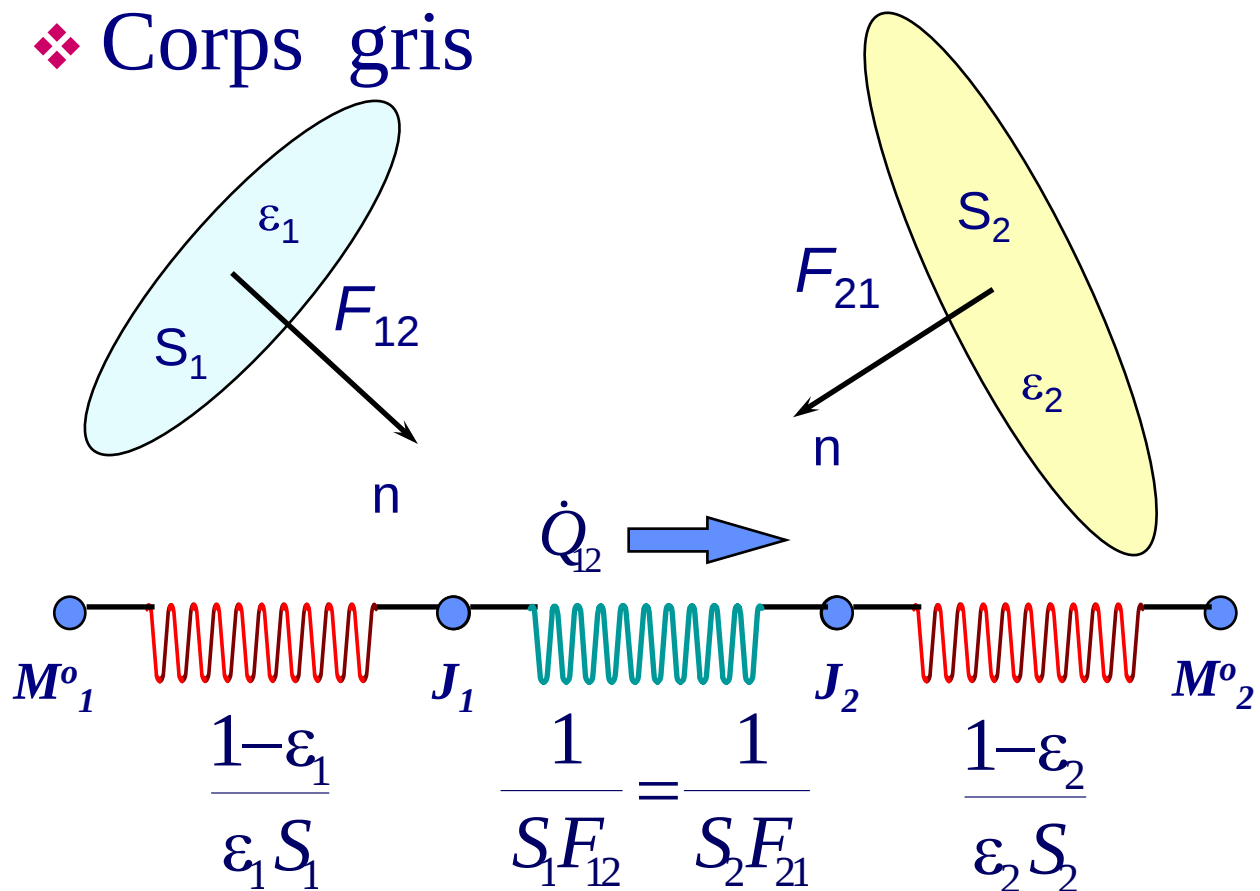


TRANSPORT D'ENERGIE

Rayonnement Thermique

Echange thermique

❖ Corps gris



◆ Flux de chaleur $M^o = \sigma T^4$

$$\dot{Q}_{12} = \frac{M_1^o - M_2^o}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 S_1} + \frac{1}{S_1 F_{12}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2 S_2}}$$



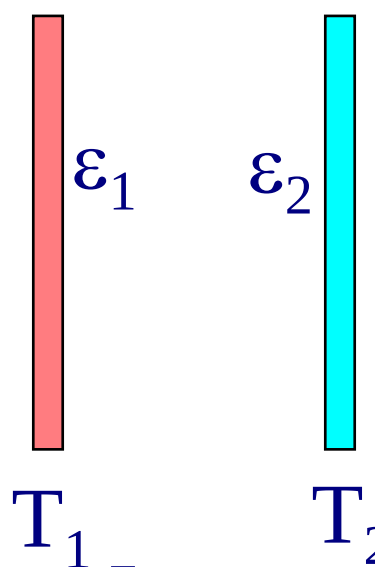
TRANSPORT D'ENERGIE

Rayonnement Thermique

Echange thermique

❖ Corps gris: Applications

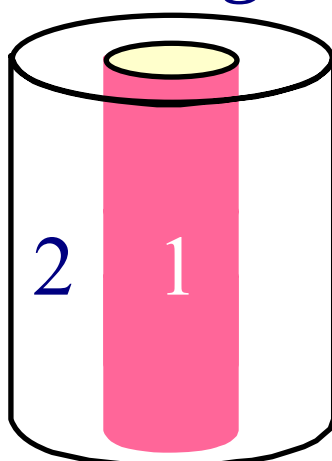
◆ Plans // infinis



$$S_1 = S_2 \quad F_{12} = 1$$

$$q_{12} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

◆ Longs cylindres concentriques



$$\dot{Q}_{12} = \frac{\sigma S_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}$$

$S_2 \gg S_1$

$$q_{12} = \varepsilon_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$



- ❖ Densité de flux de chaleur

$$q_{12} = G(\varepsilon, F) \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

$$q_{12} = h_r (T_1 - T_2)$$

- ❖ Le coefficient de transfert de chaleur

$$h_r = G(\varepsilon, F) \sigma (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2)$$

- ❖ Aux faibles températures

$$h_r \cong 5 - 10 \text{ W / m}^2\text{K}$$

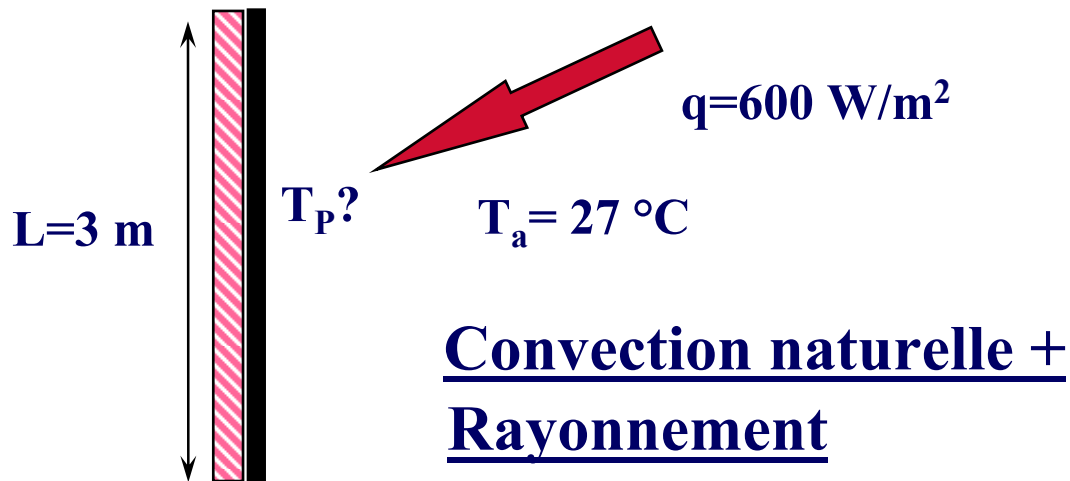
➡ Comparable aux valeurs de h_{cn}



TRANSPORT D'ENERGIE

Rayonnement Thermique

■ PANNEAU SOLAIRE



❖ Procédure itérative

👉 $T_f^{(1)} = 48 \text{ °C} \rightarrow \text{Prop. Thermo-Phy.}$

👉 $h_c^{(1)} = 7,4 \text{ et } h_r^{(1)} = 7,2 \text{ W/m}^2.\text{K}$

👉 $T_p^{(1)} = q/h_t^{(1)} + T_a = 68,1 \text{ °C}$

👉 $T_f^{(2)} = 0.5(T_p^{(1)} + T_a) = 45,6 \text{ °C} \rightarrow \text{Prop}$

👉 $h_c^{(2)} = 7,44 \text{ et } h_r^{(2)} = 7,13 \text{ W/m}^2.\text{K}$

👉 $T_p^{(2)} = q/h_t^{(2)} + T_a = 68,2 \text{ °C}$

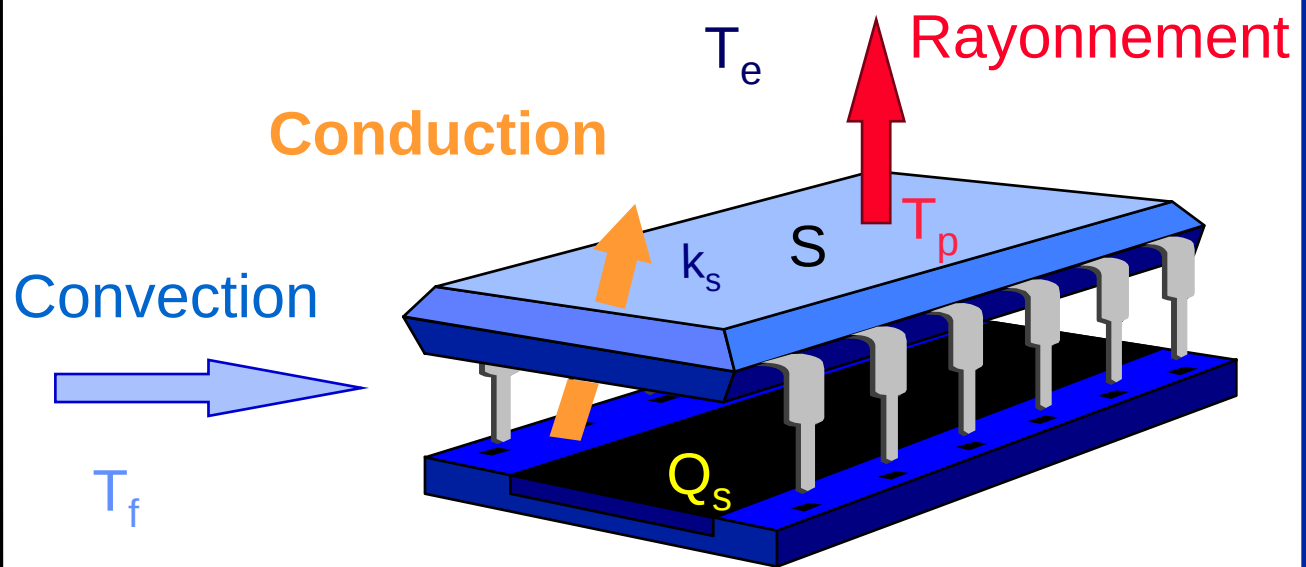
👉 $T_{p \text{ sans rayonnement}} = 110 \text{ °C} !!!$



TRANSPORT D'ENERGIE

Transfert de Chaleur

Les trois modes



Bilan Energétique

$$-k_s S \frac{dT}{dy} \Big|_p = h_{cv} \cdot S (T_p - T_f) + G(\varepsilon, F) \sigma S (T_p^4 - T_e^4)$$

