

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations entre grandeurs

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps gris

Echanges radiatifs

Entre surfaces noires

Entre surfaces grise opaques

Introduction

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

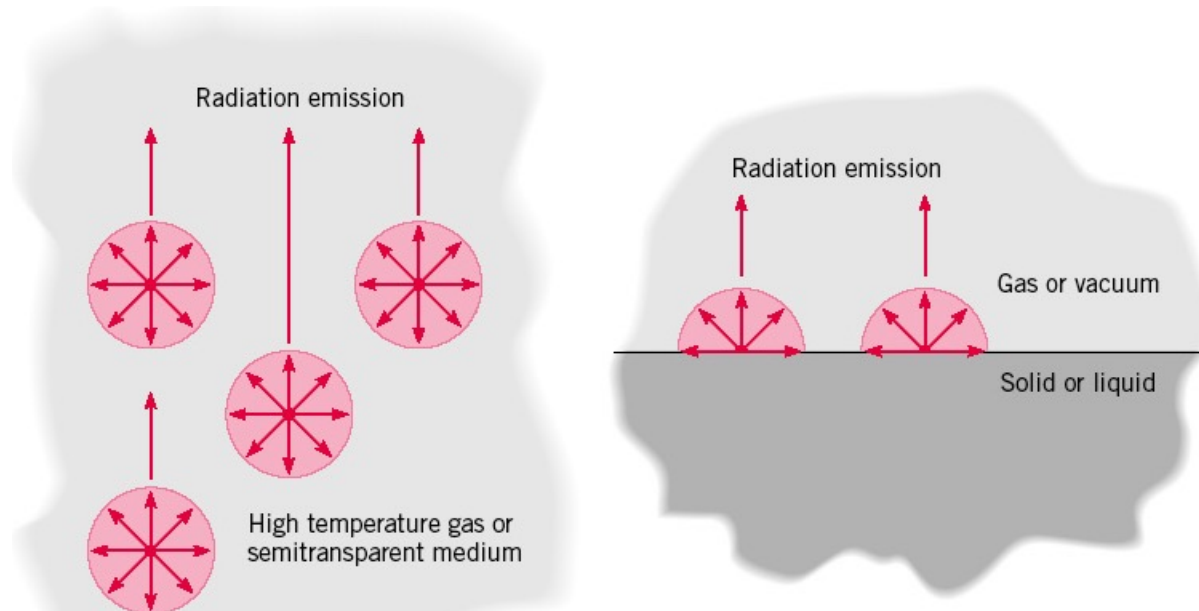
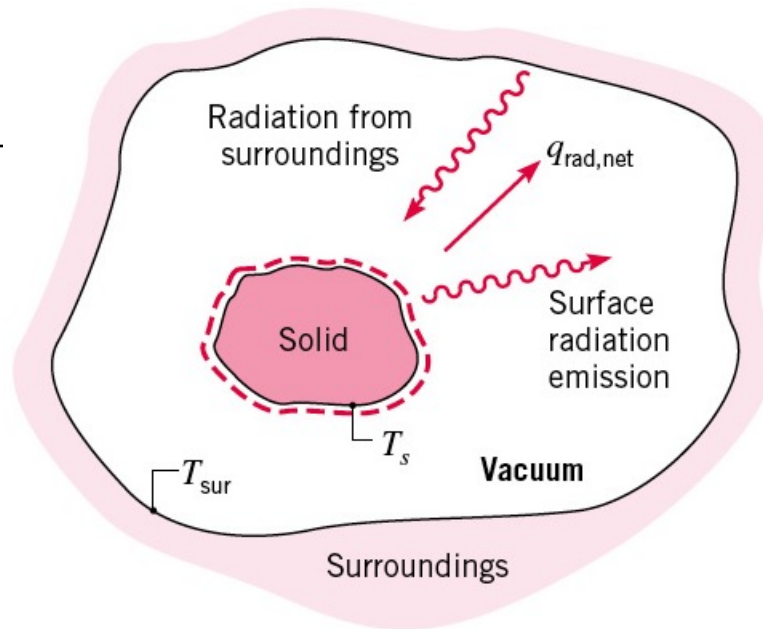
Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq



Introduction

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

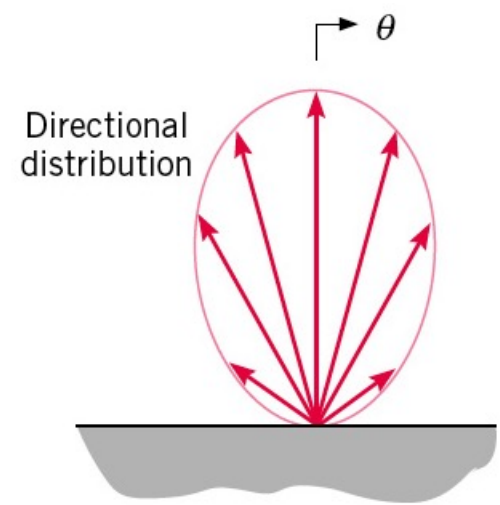
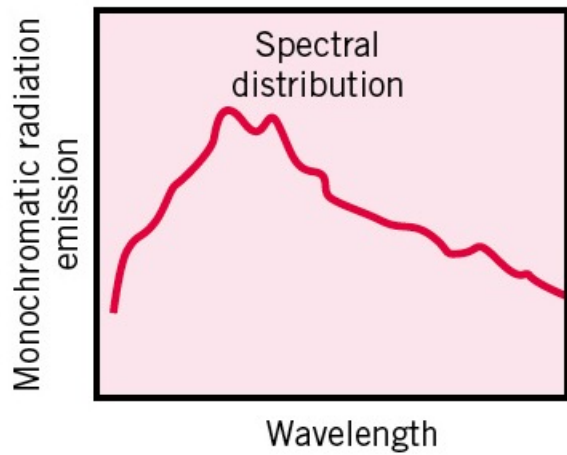
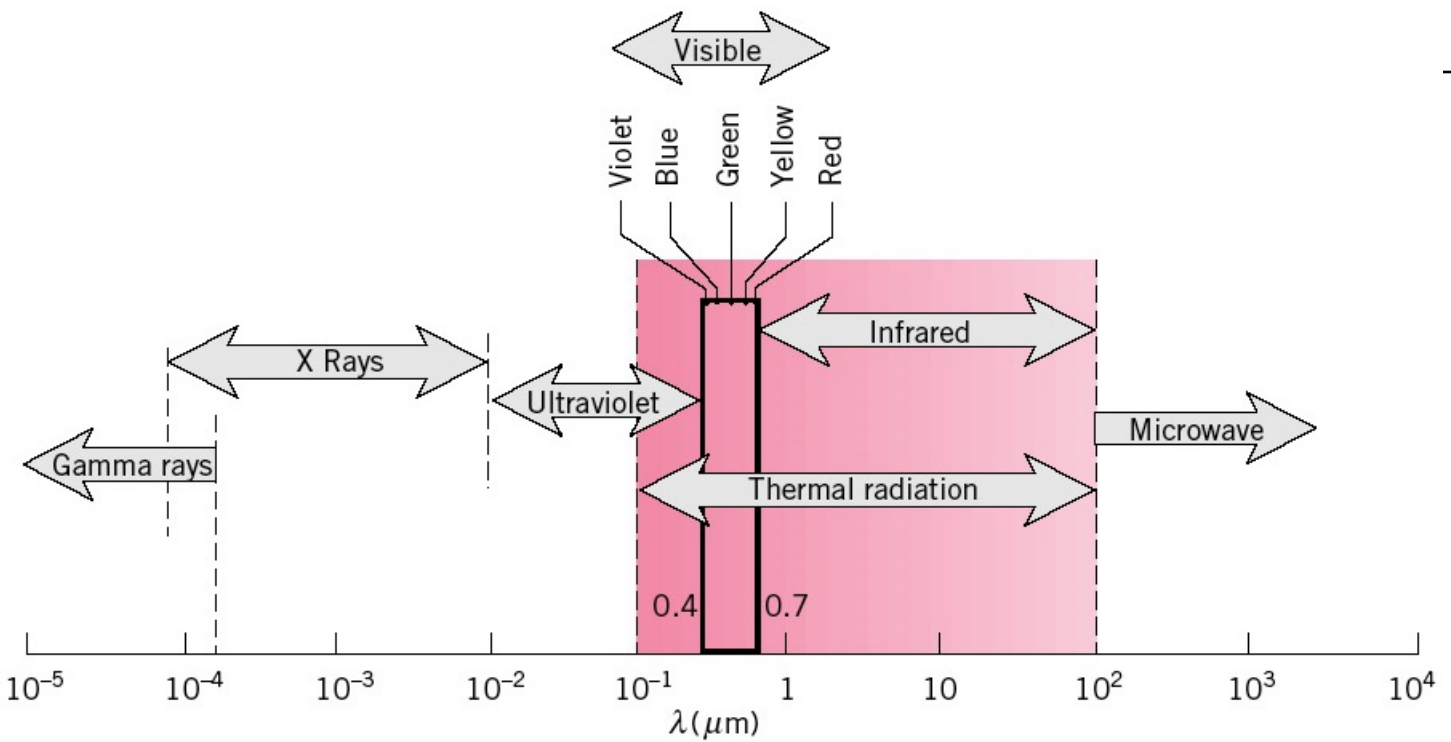
Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq



Grandeurs utiles

Définitions

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

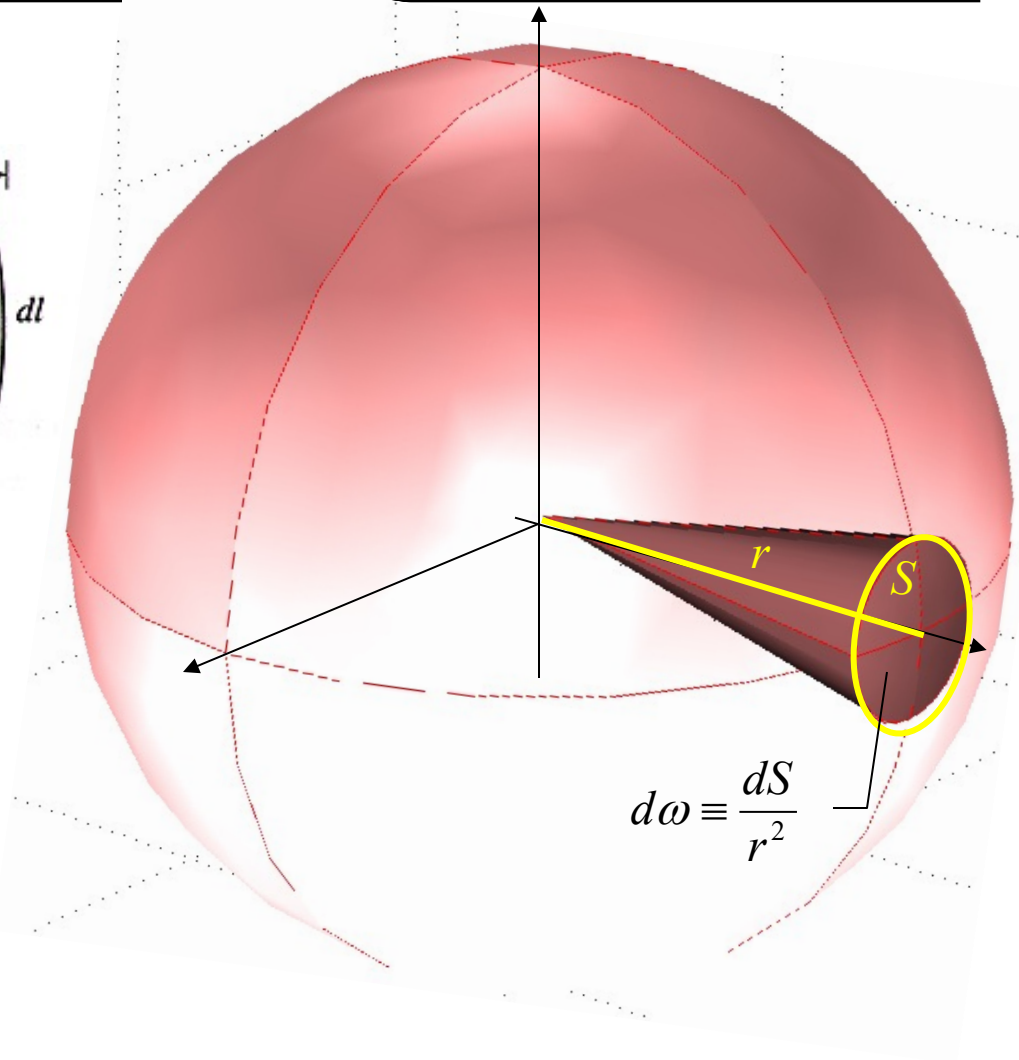
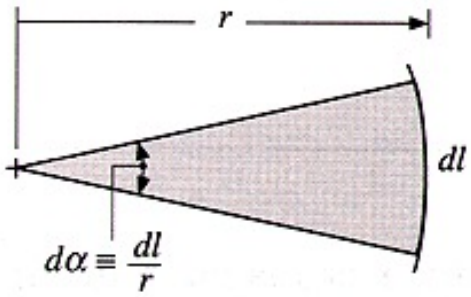
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Angle solide



Grandeurs utiles

Définitions

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

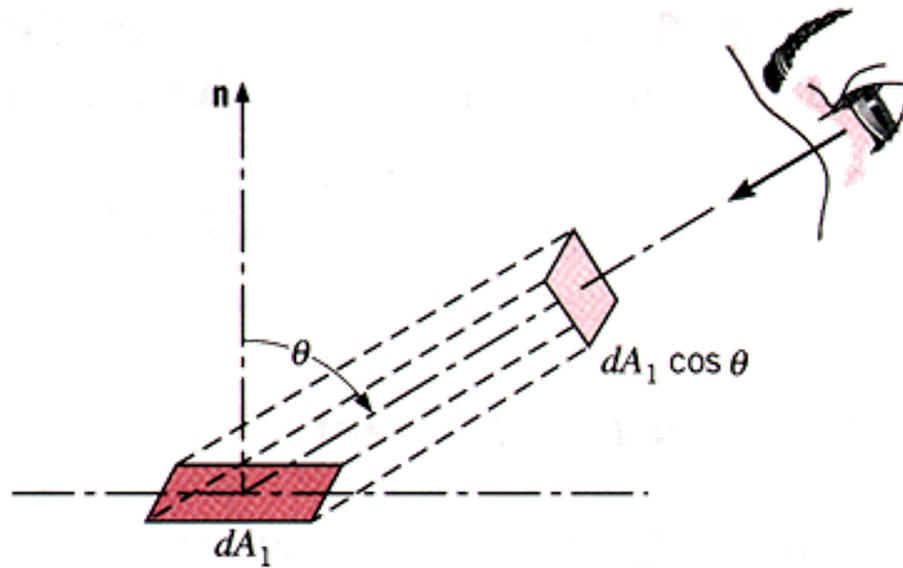
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Surface vue



Grandeurs utiles

Définitions

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

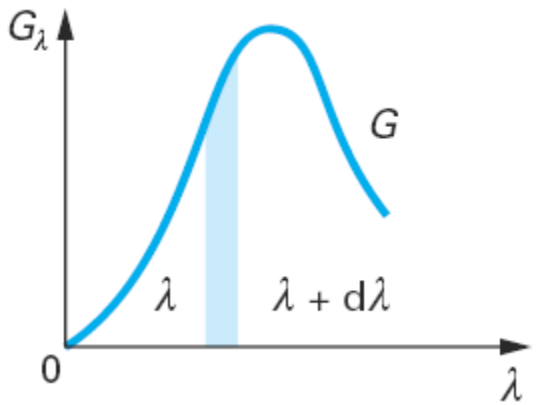
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

• Grandeurs



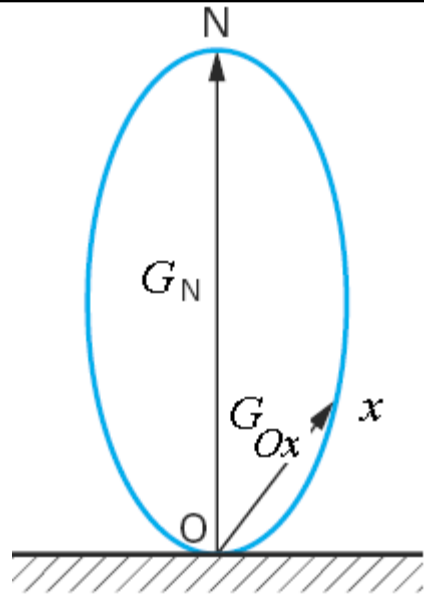
• Fonction de la longueur d'onde

• « monochromatique »

$$G_\lambda = \frac{dG}{d\lambda}$$

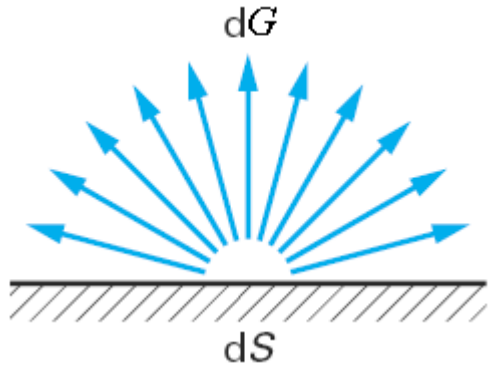
• « totale »

$$G = \int_0^\infty G_\lambda d\lambda$$



• Fonction de la direction

• « directionnelles »



• « hémisphérique »

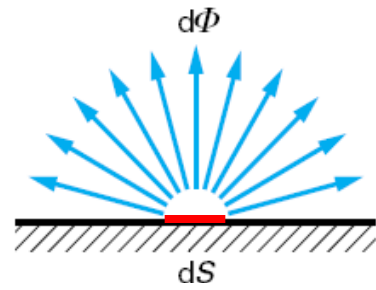
Grandeurs utiles

Définitions

Rayonnement

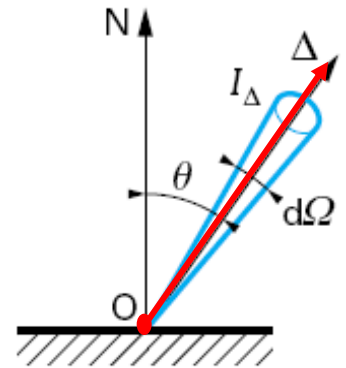
- Introduction
- Grandeurs utiles**
 - Définitions**
 - Relations
- Lois du rayonnement
 - Corps noir
 - Corps réels
- Echanges radiatifs
 - Surfaces noires
 - Surfaces grises opq

Emission

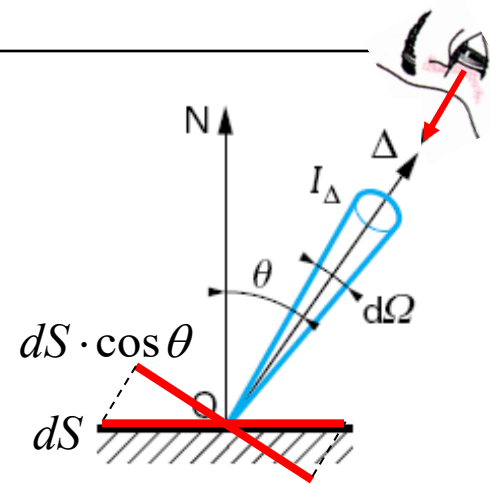


Flux dans tout l'espace

Emittance d'un point



Intensité énergétique dans une direction



Luminance de la surface vue dans une direction

– valeurs totales

$$\Phi \text{ [W]}$$

$$M = \frac{d\Phi}{dS} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$I_{\Delta} = \frac{d\Phi_{\Delta}}{d\Omega} \left[\frac{\text{W}}{\text{sr}} \right]$$

$$L_{\Delta} = \frac{dI_{\Delta}}{dS \cos \theta} = \frac{d^2\Phi_{\Delta}}{d\Omega dS \cos \theta} \left[\frac{\text{W}}{\text{sr} \cdot \text{m}^2} \right]$$

– valeurs monochromatiques

$$\Phi = \int_0^{\infty} \Phi_{\lambda} \cdot d\lambda$$

$$M_{\lambda} = \frac{d\Phi_{\lambda}}{dS}$$

$$I_{\Delta\lambda} = \frac{d\Phi_{\lambda}}{d\Omega}$$

$$L_{\Delta\lambda} = \frac{d^2\Phi_{\lambda}}{d\Omega dS \cos \theta}$$

Grandeurs utiles

Définitions

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

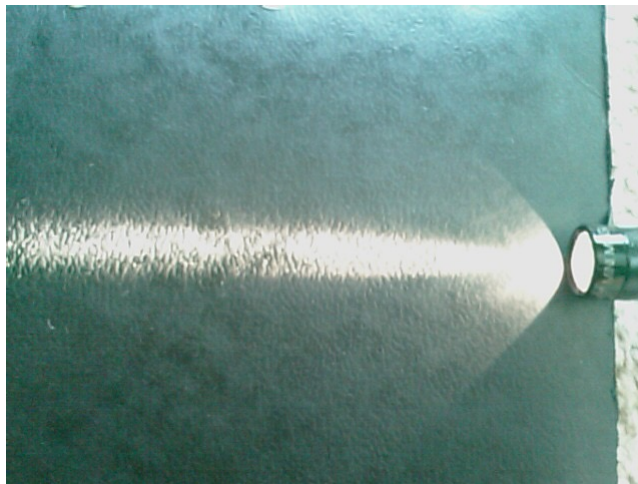
Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- **Intensité**

$$\Phi \text{ [W]} \quad M = \frac{d\Phi}{dS} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad I_{\Delta} = \frac{d\Phi_{\Delta}}{d\Omega} \left[\frac{\text{W}}{\text{sr}} \right]$$



Grandeurs utiles

Définitions

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- **Intensité**

$$\Phi \text{ [W]}$$

$$M = \frac{d\Phi}{dS} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$I_{\Delta} = \frac{d\Phi_{\Delta}}{d\Omega} \left[\frac{\text{W}}{\text{sr}} \right]$$

$$L_{\Delta} = \frac{dI_{\Delta}}{dS \cos \theta}$$
$$= \frac{d^2\Phi_{\Delta}}{d\Omega dS \cos \theta} \left[\frac{\text{W}}{\text{sr} \cdot \text{m}^2} \right]$$



Grandeurs utiles

Définitions

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

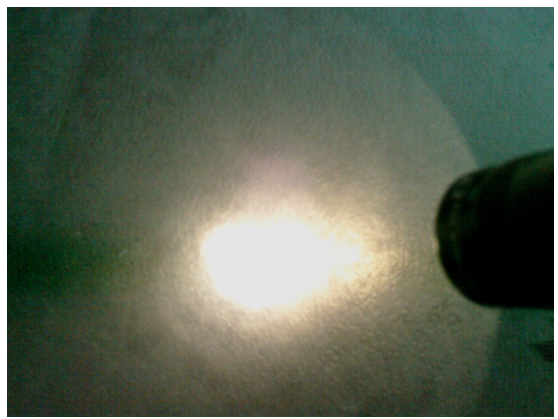
- Luminance**

Φ [W]

$$M = \frac{d\Phi}{dS} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$I_{\Delta} = \frac{d\Phi_{\Delta}}{d\Omega} \left[\frac{\text{W}}{\text{sr}} \right]$$

$$L_{\Delta} = \frac{dI_{\Delta}}{dS \cos \theta} \\ = \frac{d^2\Phi_{\Delta}}{d\Omega dS \cos \theta} \left[\frac{\text{W}}{\text{sr} \cdot \text{m}^2} \right]$$



Grandeurs utiles

Définitions

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Réception

- éclairement totale

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

- éclairement monochromatique

$$E_{\lambda} = \frac{d\Phi_{\lambda}}{dS}$$

Grandeurs utiles

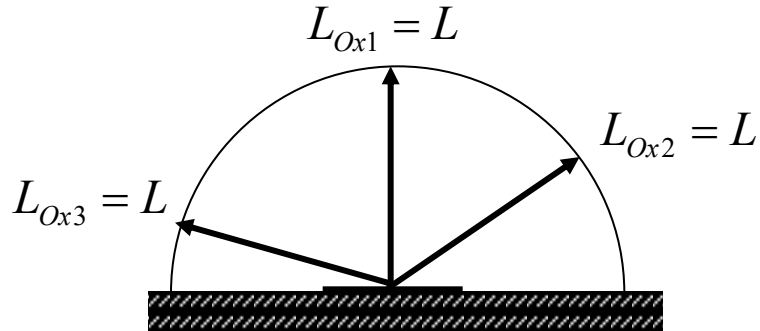
Relations entre grandeurs

- Rayonnement
- Introduction
- Grandeurs utiles**
- Définitions
- Relations**
- Lois du rayonnement
- Corps noir
- Corps réels
- Echanges radiatifs
- Surfaces noires
- Surfaces grises opq

- **Loi de Lambert**

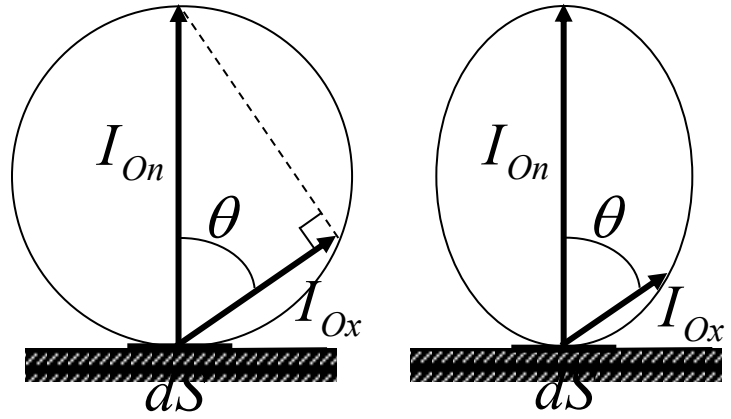
$$L_{Ox} = L$$

$$\Rightarrow L = \frac{dI_{Ox}}{dS \cos \theta} = \frac{dI_{On}}{dS}$$



– conséquences émission diffuse

$$I_{Ox} = I_{On} \cos \theta = L dS \cos \theta$$



Source : diffuse non diffuse

Grandeurs utiles

Relations entre grandeurs

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

Relation émittance – luminance

Flux directionnelle

$$d^2\Phi_{Ox} = L_{Ox} \cdot dS \cos \theta \cdot d\Omega$$

Flux hémisphérique

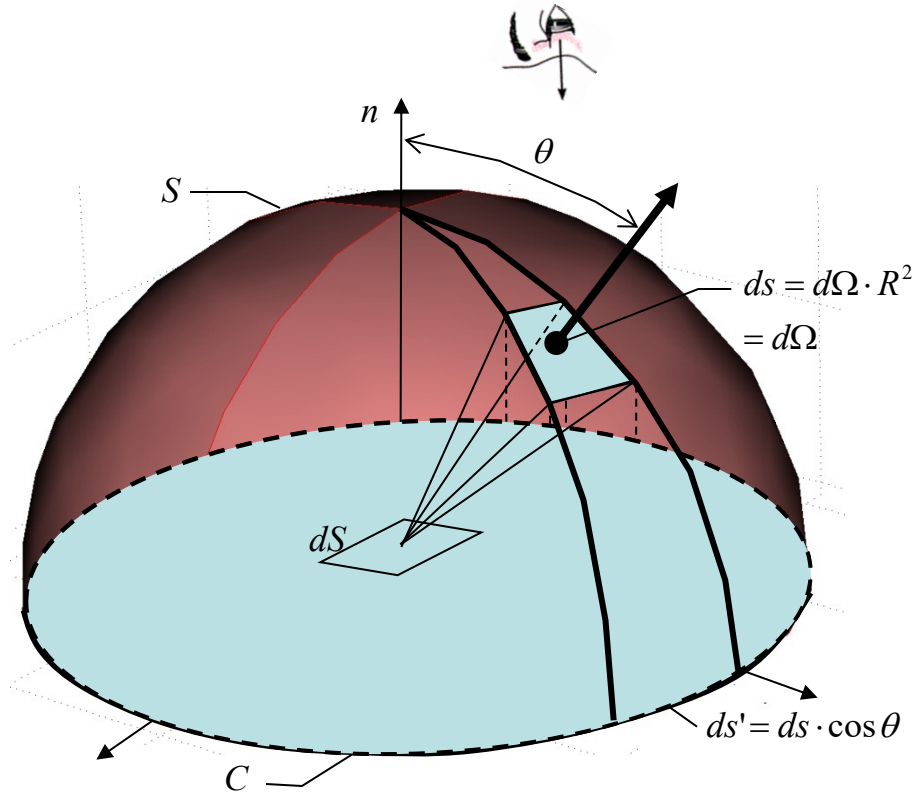
$$d\Phi = L \cdot dS \int_S \cos \theta \cdot d\Omega$$

$$= L \cdot dS \int_C ds'$$

$$= L \cdot dS \cdot \pi$$

Relation émittance - luminance

$$M = \pi L$$



Grandeurs utiles

Relations entre grandeurs

Rayonnement

- Introduction
- Grandeurs utiles**
 - Définitions
 - Relations**
- Lois du rayonnement
 - Corps noir
 - Corps réels
- Echanges radiatifs
 - Surfaces noires
 - Surfaces grises opq

Relation émittance – luminance

Flux directionnel

$$d^2\Phi_{Ox} = L_{Ox} \cdot dS \cos \theta \cdot d\Omega$$

Flux hémisphérique

$$d\Phi = L \cdot dS \int_S \cos \theta \cdot d\Omega$$

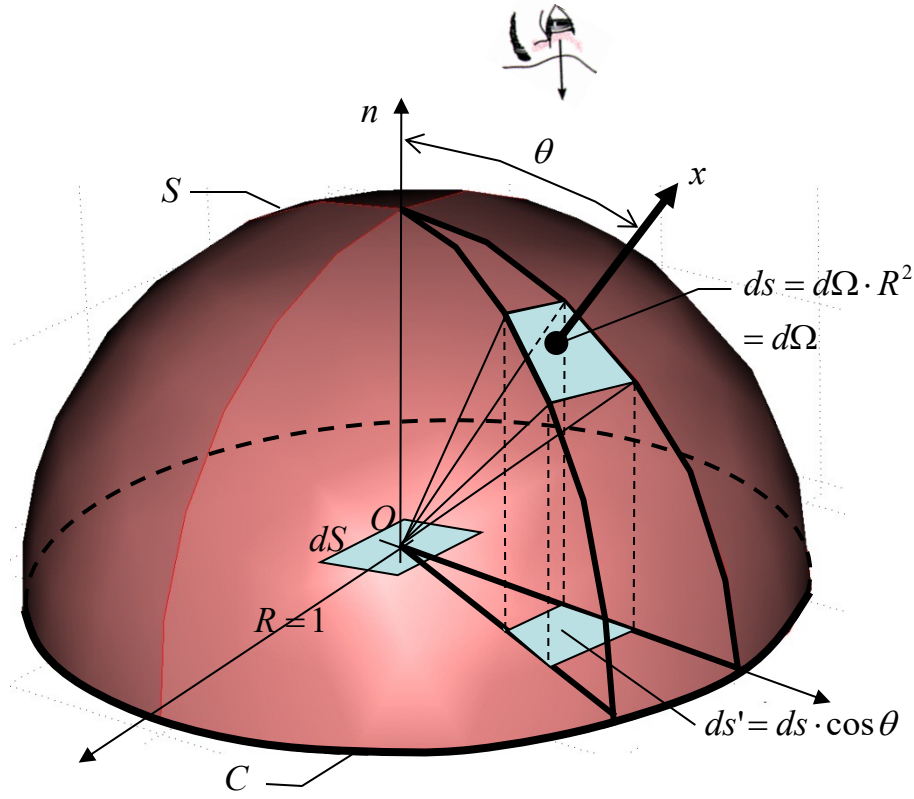
$$= L \cdot dS \int_C ds'$$

$$= L \cdot dS \cdot \pi$$

$$\frac{d\Phi}{dS} = L \cdot \pi$$

Relation émittance - luminance

$$M = \pi L$$



Grandeurs utiles

Relations entre grandeurs

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

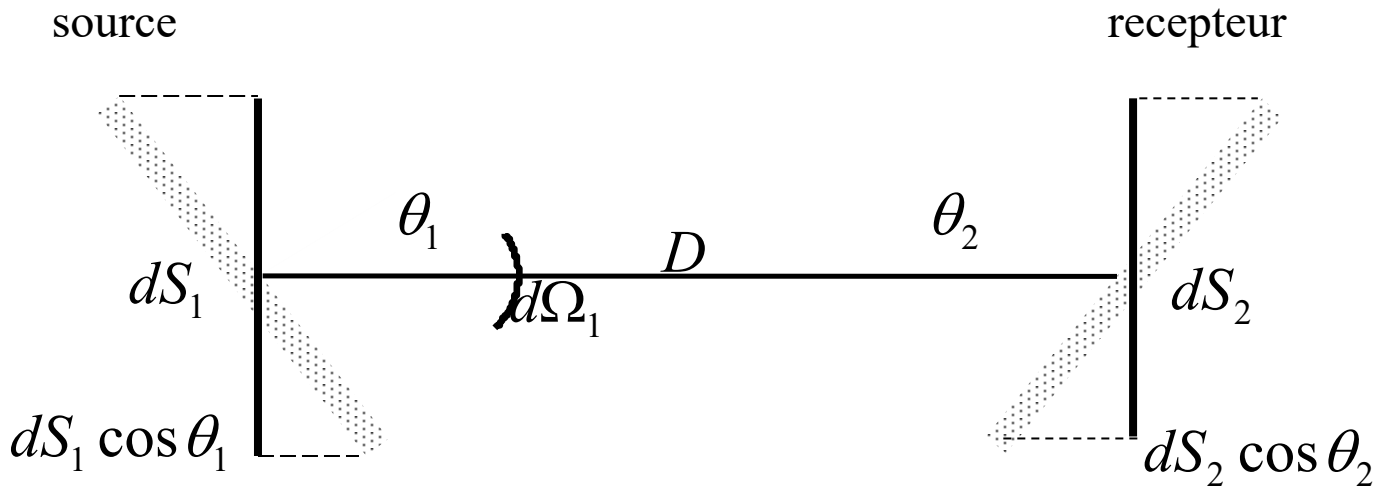
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

• Relation de Bouguer



$$d^2\Phi_{12} = L_1 \cdot dS_1 \cos \theta_1 \cdot d\Omega_1 \qquad d\Omega_1 = \frac{dS_2 \cos \theta_2}{D^2}$$

$$dE = \frac{d^2\Phi_{12}}{dS_2} = L_1 \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{D^2} dS_1$$

Lois du rayonnement

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

Emittance corps noir

monochromatique

- **Loi de Plank**

1. émittance monochromatique en fonction de la température et de la longueur d'onde

- **Lois de Wien**

2. lieu des maxima des émittances monochromatiques
3. valeurs des maxima en fonction de la température

totale

- **Loi de Stefan – Boltzmann**

4. émittance totale en fonction de la température

Corps gris

- **Loi de Kirchhoff**

5. relation absorption - émission

Lois du rayonnement

Corps noir

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

Corps noir :

- absorbe tout rayonnement incident (indifféremment de la longueur d'onde et/ou de la direction)
- émet le maximum d'énergie par rayonnement à une température et longueur d'onde données
- émet du rayonnement diffus (mais en fonction de la température et de la longueur d'onde) - obéit à la loi de Lambert)

$$L^0 = \frac{M^0}{\pi}$$

$$L_{\lambda}^0 = \frac{M_{\lambda}^0}{\pi}$$

Le corps noir est:

- référence pour les corps réels : « étalon » du rayonnement
- « émetteur » et « absorbeur » parfait
- caractérisé par des grandeurs hémisphériques (notée °)

Lois du rayonnement

Corps noir

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

• Loi de Planck

$$M^\circ_{\lambda,T} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

$$C_1 = 2\pi^5 h c^2 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ [W} \cdot \text{m}^2 \text{]}$$

$$C_2 = hc/k = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ [m} \cdot \text{K]}$$

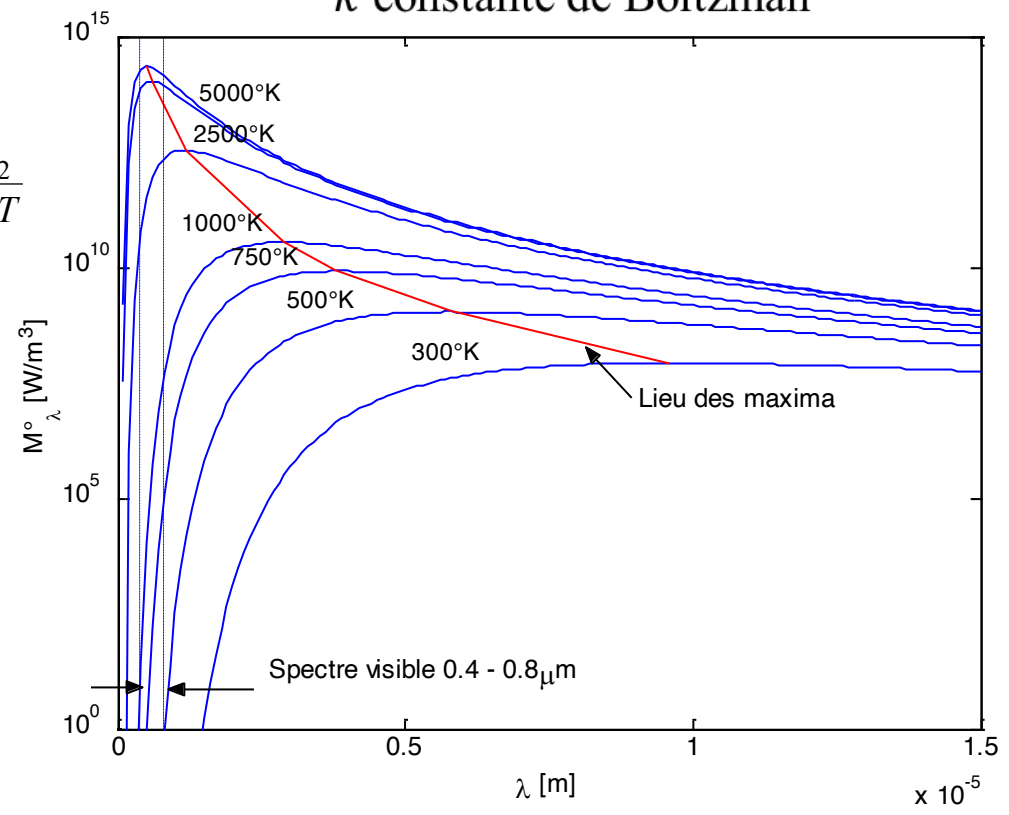
c vitesse de la lumière
 h constante de Plank
 k constante de Boltzman

CLO

$$M^\circ_{\lambda,T} = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$$

GLO

$$M^\circ_{\lambda,T} = \frac{C_1 T}{C_2 \lambda^4}$$



Lois du rayonnement

Corps noir

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

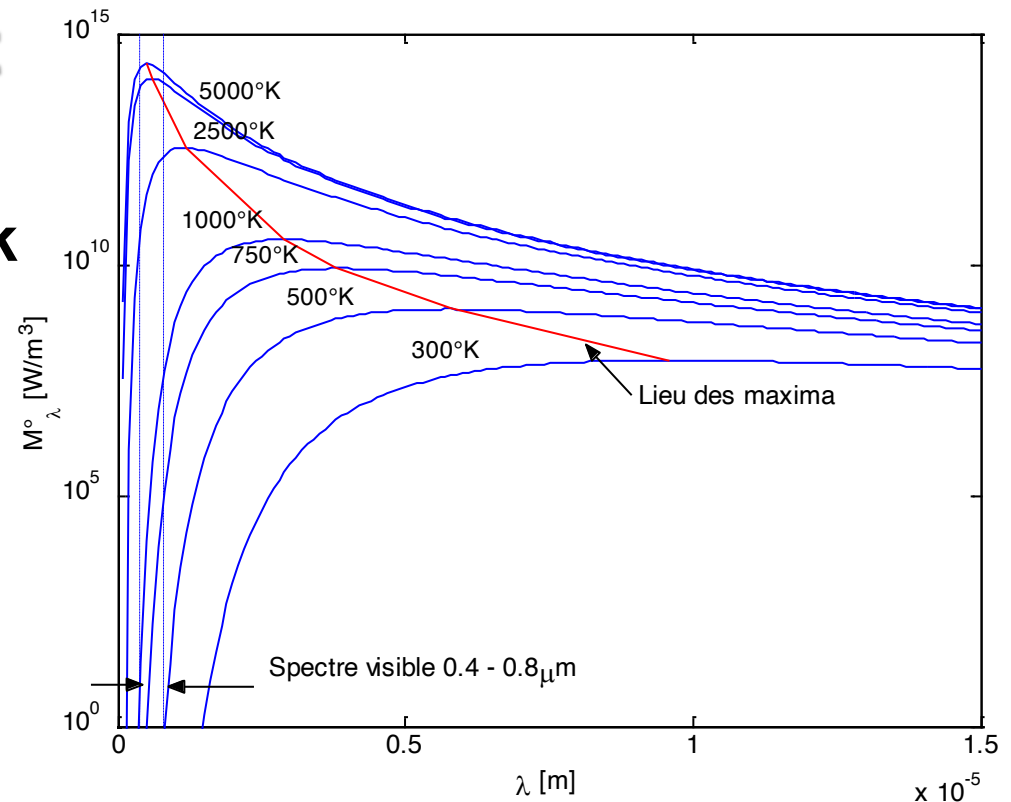
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- **Loi de Plank**



1. L'émittance varie avec la longueur d'onde
2. A chaque longueur d'onde, l'emittance augmente avec la température de la source
3. Une partie significative du rayonnement solaire est dans le spectre visible
4. Le domaine spectral de l'emittance dépend de la température ; plus de rayonnement en haute fréquence pour les températures élevées (loi de Wien, CLO, GLO).

Lois du rayonnement

Corps noir

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- **Lois de Wien**

1. λ pour émittance monochromatique maximale

$$\frac{dM_{\lambda T}^0}{d\lambda} = 0 \Rightarrow \lambda_M T = 2.897 \cdot 10^{-3} [\text{m} \cdot \text{K}]$$

2. émittance monochromatique maximale

$$M_{\lambda_M T}^0 = B \cdot T^5 ; B = 1.286 \cdot 10^5 [\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-5}]$$

- **Lois de Stefan – Boltzmann**

$$M^0 = \int_0^{\infty} M_{\lambda T}^0 d\lambda = \sigma_0 T^4 \qquad M^0 = 5.68 \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

$$\sigma_0 = 5.68 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Lois du rayonnement

Corps noir

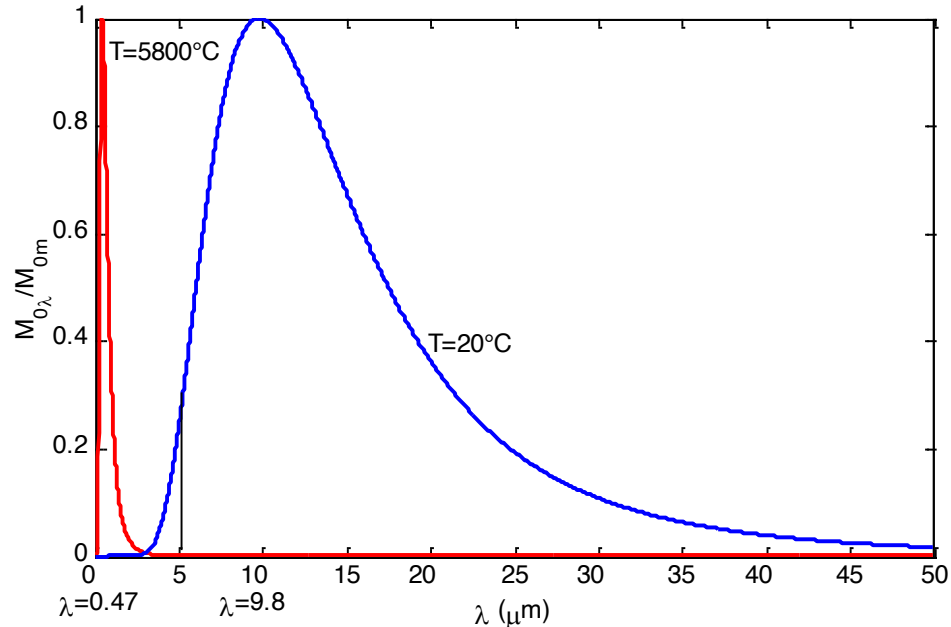
- Rayonnement
 - Introduction
 - Grandeurs utiles
 - Définitions
 - Relations
 - Lois du rayonnement**
 - Corps noir**
 - Corps réels
 - Echanges radiatifs
 - Surfaces noires
 - Surfaces grises opq

Domaine utile du rayonnement

- Fraction de l'émittance totale
- Domaine utile du rayonnement
- énergie solaire: 50% visible, 40% IR, 8% UV
- CLO et GLO

$$F_{\lambda_1-\lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_{\lambda T}^0 d\lambda}{M^0}$$

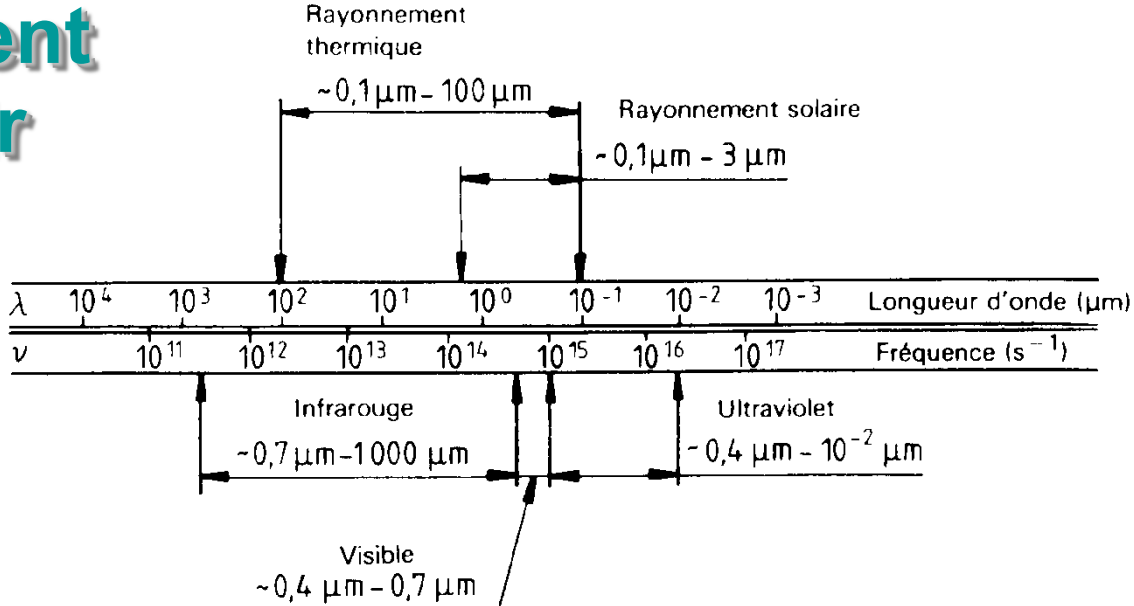
$$F_{0.5\lambda-5\lambda} = 0.956$$



Lois du rayonnement

Corps noir

- Rayonnement
- Introduction
- Grandeurs utiles
 - Définitions
 - Relations
- Lois du rayonnement
 - Corps noir
 - Corps réels
- Echanges radiatifs
 - Surfaces noires
 - Surfaces grises opq



Répartition de l'énergie rayonnée par le corps noir

Température		Emittance	Longueur d'onde du maximum	Limites approximatives du spectre
Absolute, T	Celsius, θ	M^0	λ_M	$0.5\lambda_M - 5\lambda_M$
[K]	[°C]	[W/cm ²]	[μm]	[μm]
300	27	0.05	9.6	4.8 - 41
500	227	0.36	5.7	3.0 - 25
750	477	1.80	3.8	2.0 - 16
1000	727	5.70	2.9	1.5 - 12
1200	927	11.82	2.4	1.2 - 11
1500	1227	28.90	1.9	1.0 - 8
2000	1727	91.00	1.4	0.7 - 6
3000	2727	462.00	0.96	0.5 - 4
5790	5517	6383.6	0.50	0.25 - 2.5

Lois du rayonnement

Corps réels

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

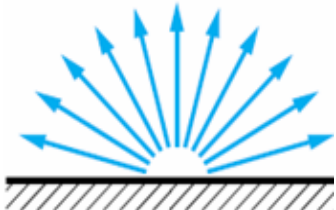
Echanges radiatifs

Surfaces noires

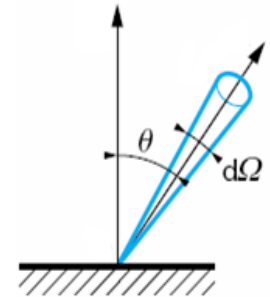
Surfaces grises opq

Emission de corps réel : par rapport au corps noir placé dans les mêmes conditions de température et longueur d'onde à l'aide des **émissivités**

Hémisphérique



Directionnelle



Monochromatique

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{M_{\lambda}}{M_{\lambda}^0}$$

$$\epsilon_{Ox,\lambda} = \frac{L_{Ox,\lambda}}{L_{\lambda}^0} = \frac{L_{Ox,\lambda}}{M_{\lambda}^0 / \pi}$$

Totale

$$\epsilon = \frac{M}{M^0} = \frac{\int_0^{\infty} \epsilon_{\lambda} M_{\lambda}^0 d\lambda}{\sigma T^4}$$

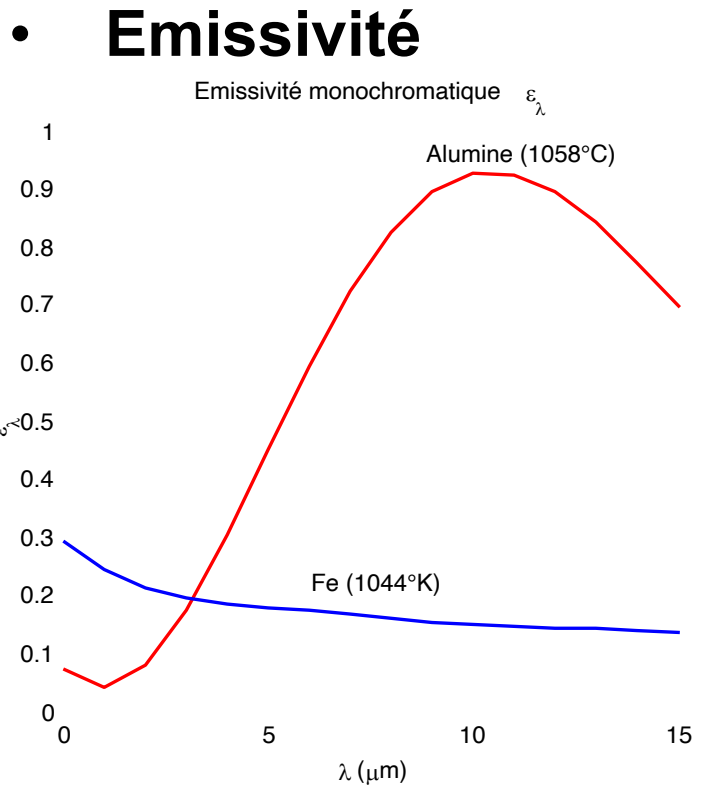
$$\epsilon_{Ox} = \frac{\int_0^{\infty} \epsilon_{Ox,\lambda} L_{\lambda}^0 d\lambda}{\int_0^{\infty} L_{\lambda}^0 d\lambda} = \frac{\int_0^{\infty} \epsilon_{Ox,\lambda} M_{\lambda}^0 d\lambda}{\sigma T^4}$$

Lois du rayonnement

Corps réels

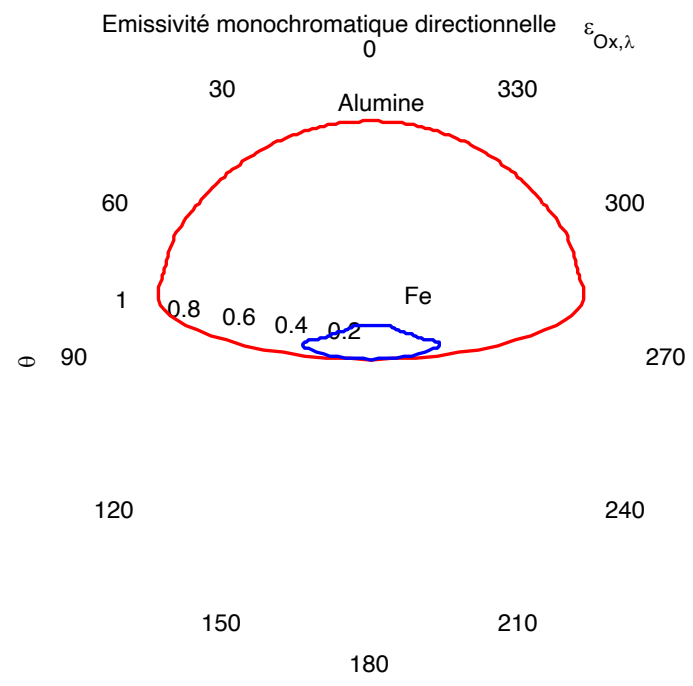
Rayonnement

- Introduction
- Grandeurs utiles
 - Définitions
 - Relations
- Lois du rayonnement**
 - Corps noir
 - Corps réels**
- Echanges radiatifs
 - Surfaces noires
 - Surfaces grises opq



monochromatique

$$\epsilon_\lambda = \frac{M_\lambda}{M_\lambda^0}$$



monochromatique directionnelle

$$\epsilon_{Ox,\lambda} = \frac{L_{Ox,\lambda}}{L_\lambda^0} = \frac{L_{Ox,\lambda}}{M_\lambda^0 / \pi}$$

Lois du rayonnement

Corps réels

- Rayonnement
 - Introduction
 - Grandeurs utiles
 - Définitions
 - Relations
 - Lois du rayonnement**
 - Corps noir
 - Corps réels**
 - Echanges radiatifs
 - Surfaces noires
 - Surfaces grises opq

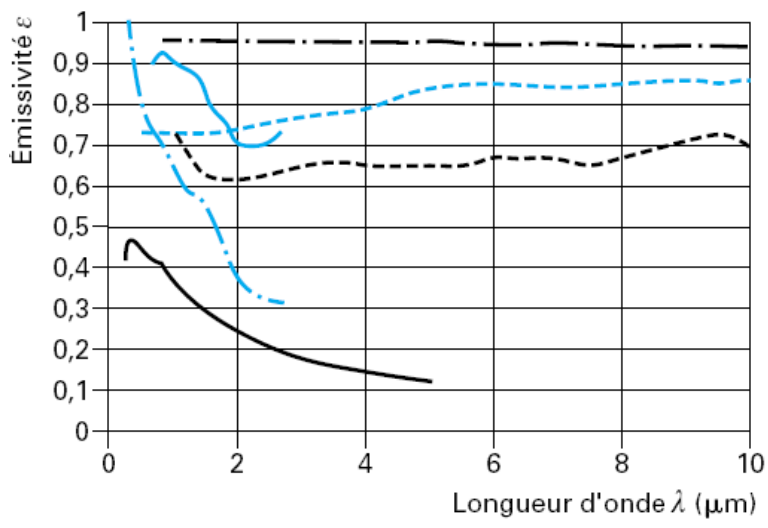
Emissivité : cas particuliers

- Corps gris
- Corps à émission diffuse (isotrope)
- Corps gris et diffusant

$$\epsilon_{Ox,\lambda} \rightarrow \epsilon_{Ox} ; \epsilon_{\lambda} \rightarrow \epsilon$$

$$\epsilon_{Ox,\lambda} \rightarrow \epsilon_{\lambda} ; \epsilon_{Ox} \rightarrow \epsilon$$

$$\epsilon_{Ox,\lambda} \rightarrow \epsilon$$



Emissivités de quelques matériaux

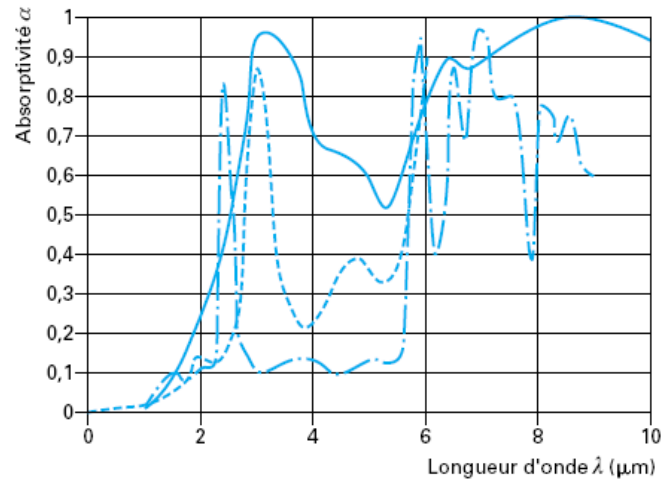
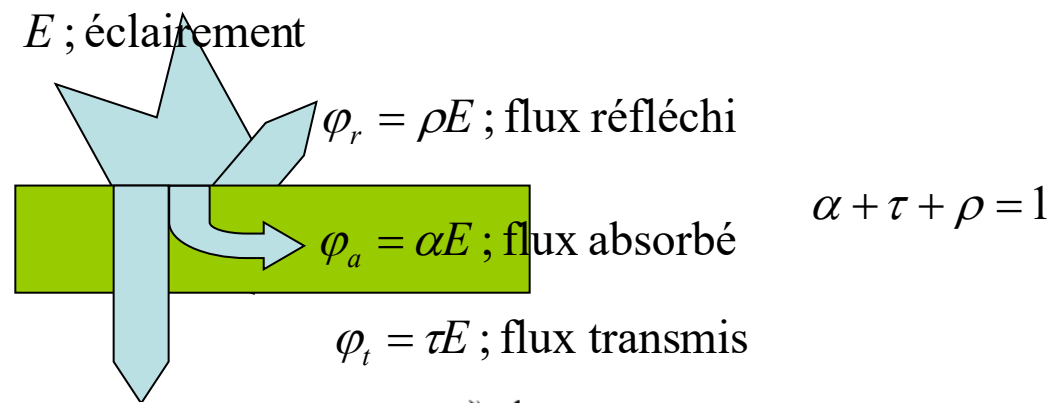
— tungstène vieilli à 2 400 K - - - SiC à 1 670 K
 - - - peinture grise - · - Inconel brut
 - · - peinture noire crown — Inconel oxydé

Lois du rayonnement

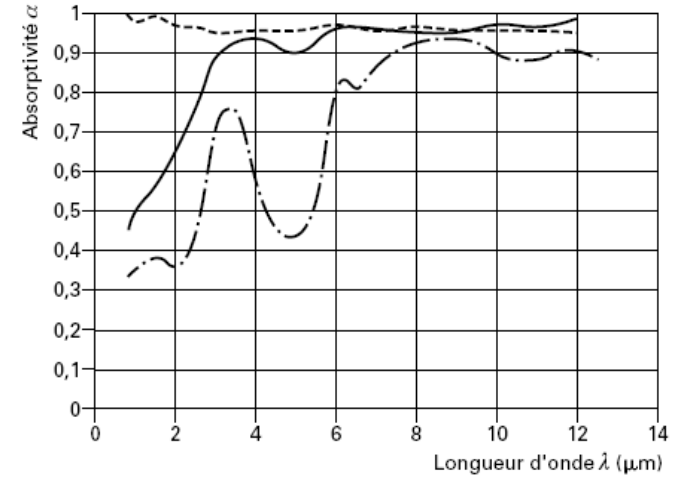
Corps réels

- Rayonnement
- Introduction
- Grandeurs utiles
 - Définitions
 - Relations
- Lois du rayonnement
 - Corps noir
 - Corps réels
- Echanges radiatifs
 - Surfaces noires
 - Surfaces grises opq

Réception du rayonnement



- Film d'eau de 10 μm
- papier blanc sec 66 g/m^2
- PVC 1 mm



- Peinture noire automobile
- Peinture blanche automobile
- Peinture blanche 9010

Lois du rayonnement

Corps réels

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

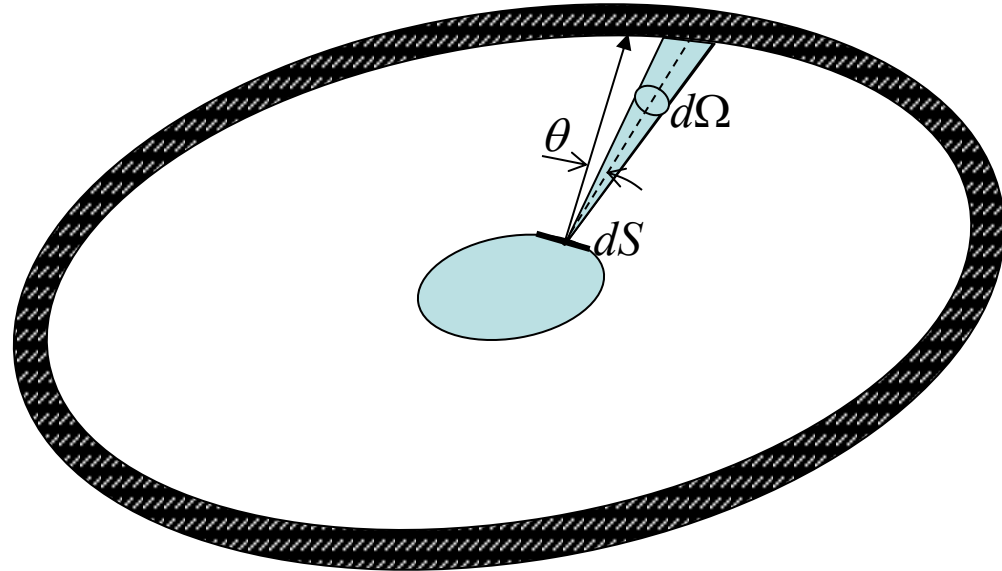
Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opa

- Loi de Kirchhoff : relation entre émissivité et absorptivité

$$\varepsilon_{Ox,\lambda} = \alpha_{Ox,\lambda}$$



émis :

$$\left(d^2\Phi_{Ox,\lambda}\right)_e = \varepsilon_{Ox,\lambda} L_\lambda^0 dS \cos \theta d\Omega$$

absorbé :

$$\left(d^2\Phi_{Ox,\lambda}\right)_a = \alpha_{Ox,\lambda} L_\lambda^0 dS \cos \theta d\Omega$$

Lois du rayonnement

Corps réels

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opa

- **Loi de Kirchhoff**

$$\varepsilon_{Ox,\lambda} = \alpha_{Ox,\lambda}$$

- émission diffuse

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

- en général

$$\varepsilon \neq \alpha$$

$$\varepsilon(T) = \frac{M(T)}{M^0(T)} = \frac{\int_0^\infty \varepsilon_\lambda M_\lambda^0(T) d\lambda}{\int_0^\infty M_\lambda^0(T) d\lambda} = \frac{\int_0^\infty \varepsilon_\lambda M_\lambda^0(T) d\lambda}{\sigma T^4} \quad (\text{propre temp.})$$

$$\alpha = \frac{\varphi_a}{E} = \frac{\int_0^\infty \alpha_\lambda E_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty E_\lambda d\lambda} \quad (\text{fonction de la temp. rayonnement reçu})$$

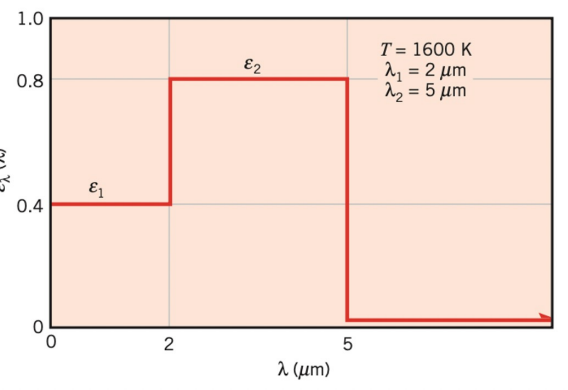
- exceptions

- corps gris $\varepsilon = \alpha$

- corps noir $\varepsilon = \alpha = 1$

Lois du rayonnement

Corps réels



Une surface diffuse est à la température $T = 1600 \text{ K}$. Son émissivité hémisphérique est variable en fonction de la longueur d'onde :

- $\epsilon_1 = 0.4$ pour $\lambda < \lambda_1 = 2 \mu\text{m}$
- $\epsilon_2 = 0.8$ pour $\lambda_1 = 2 \mu\text{m} < \lambda < \lambda_2 = 5 \mu\text{m}$
- $\epsilon_3 = 0$ pour $\lambda_2 = 5 \mu\text{m} < \lambda$

Donner les valeurs de :
 ϵ : émissivité hémisphérique globale,
 M [W/m^2] : émittance hémisphérique totale.

Solution

$$\epsilon = \frac{\int_0^\infty \epsilon_\lambda M_\lambda^0 d\lambda}{M^0} = \frac{\int_0^\infty \epsilon_\lambda M_\lambda^0 d\lambda}{\sigma T^4} = \frac{\epsilon_1 \int_0^{\lambda_1} M_\lambda^0 d\lambda}{\sigma T^4} + \frac{\epsilon_2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_\lambda^0 d\lambda}{\sigma T^4}$$

$$\epsilon = \epsilon_1 F_{0 \rightarrow \lambda_1} + \epsilon_2 F_{\lambda_1 \rightarrow \lambda_2} = \epsilon_1 F_{0 \rightarrow \lambda_1} + \epsilon_2 (F_{0 \rightarrow \lambda_2} - F_{0 \rightarrow \lambda_1})$$

Lois de Wien

$$\lambda_M T = 2.897 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \rightarrow \lambda_M = 1.81 \mu\text{m}$$

$$T = 1600 \text{ K}$$

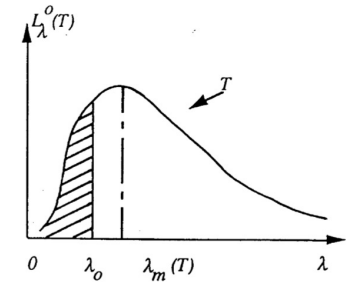
$$\lambda_1 = 2 \mu\text{m} \rightarrow x = \frac{\lambda_1}{\lambda_M} = 1.10 \rightarrow F_{0 \rightarrow \lambda_1} = 31.55 \cdot 10^{-2}$$

$$\lambda_2 = 5 \mu\text{m} \rightarrow x = \frac{\lambda_2}{\lambda_M} = 2.76 \rightarrow F_{0 \rightarrow \lambda_2} = 85.60 \cdot 10^{-2}$$

$$\epsilon = [0.4 \times 31.55 + 0.8 \times (85.60 - 31.55)] \cdot 10^{-2} = 0.558$$

$$M = \epsilon M^0 = \epsilon \sigma T^4$$

Fonction $z(0, \lambda_0/\lambda_m(T))$ pour le rayonnement d'équilibre



$$x = \frac{\lambda_0}{\lambda_m(T)}$$

$$z\left(0, \frac{\lambda_0}{\lambda_m(T)}\right) = \frac{\int_0^{\lambda_0} \pi L_\lambda^0(T) d\lambda}{\sigma T^4}$$

- On rappelle que
- 1) $T \cdot \lambda_m(T) = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K}$
 - 2) 98 % de la puissance est répartie entre $\frac{\lambda_0}{2}$ et $7 \lambda_m$

x	Z	x	Z	x	Z	x	y
0,10	5,5.10 ⁻¹⁸						
0,20	4,0.10 ⁻⁸						
0,22	3,1.10 ⁻⁷	0,92	19,78.10 ⁻²	1,62	59,29.10 ⁻²	3,6	92,24.10 ⁻²
0,24	1,6.10 ⁻⁶	0,94	21,08.10 ⁻²	1,64	60,10.10 ⁻²	3,7	92,74.10 ⁻²

Lois du rayonnement

Corps réels

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

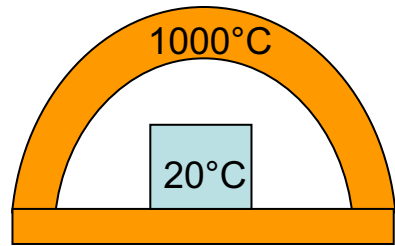
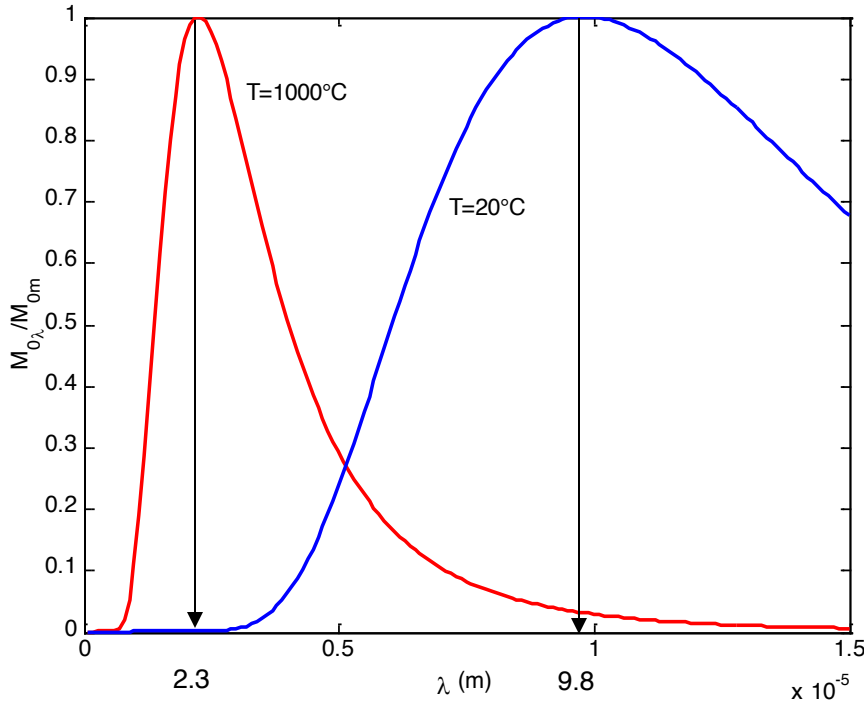
Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Conséquences pratiques : chauffage radiatif**

Rayonnement dans des plages spectrales différentes $F_{0.5\lambda-5\lambda} = 0.956$



Lois du rayonnement

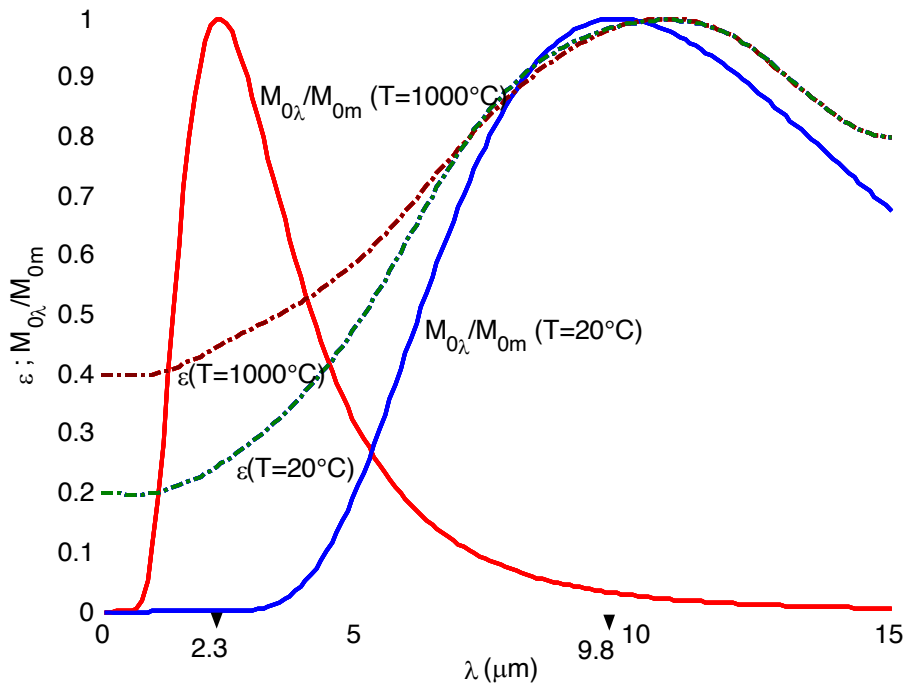
Corps réels

- Rayonnement
 - Introduction
 - Grandeurs utiles
 - Définitions
 - Relations
 - Lois du rayonnement**
 - Corps noir
 - Corps réels**
 - Echanges radiatifs
 - Surfaces noires
 - Surfaces grises opq

Conséquences pratiques : chauffage radiatif

pour chaque composant, ε correspondant à la bande spectrale

$$\varepsilon_{20^\circ C} = \frac{1}{50-5} \int_5^{50} \varepsilon_\lambda \cdot d\lambda = 0.9 \qquad \varepsilon_{1000^\circ C} = \frac{1}{5-1.25} \int_{1.25}^5 \varepsilon_\lambda \cdot d\lambda = 0.43$$



Matériau	ε	
	5790K	300K
Carton goudronné noir	0,82	0,91
Brique rouge	0,75	0,93
Blanc de zinc	0,22	0,92
Neige propre	0,20...0,35	0,95
Chrome poli	0,40	0,07
Or poli	0,29	0,026
cuivre poli	0,18	0,03
cuivre, oxydé	0,70	0,45

Lois du rayonnement

Corps réels

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

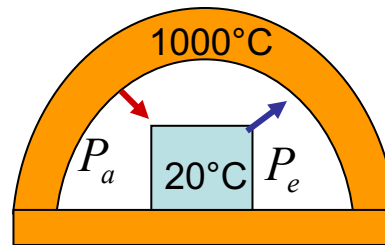
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- **Conséquences pratiques : chauffage radiatif**



$$P_a = \varepsilon_{1000^\circ\text{C}} M^0 = 0.43 \sigma (1273)^4 = 6.7 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$$

$$P_e = \varepsilon_{20^\circ\text{C}} M^0 = 0.9 \sigma (293)^4 = 3.76 \cdot 10^2 \text{ W/m}^2$$

$$P_a > P_e \Rightarrow \text{le corps s'échauffe}$$

Température

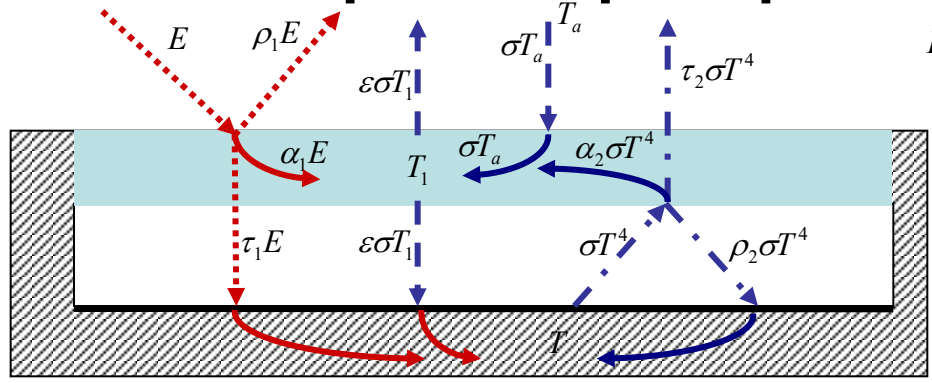
- du rayonnement reçu
- propre

Lois du rayonnement

Corps réels

- Rayonnement
- Introduction
- Grandeurs utiles
- Définitions
- Relations
- Lois du rayonnement**
- Corps noir
- Corps réels
- Echanges radiatifs
- Surfaces noires
- Surfaces grises opq

• Conséquences pratiques : Effet de serre



$E = 1000 \text{ W/m}^2$

- ⋯→ CLO ($0.25 \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$), $T = 5780 \text{ K}$ ($\lambda_M = 0.5 \mu\text{m}$)
- · → GLO ($3 \leq \lambda \leq 30 \mu\text{m}$), $T = 450 \text{ K}$ ($\lambda_M = 6.1 \mu\text{m}$)
- - → GLO ($5 \leq \lambda \leq 50 \mu\text{m}$), $T = 300 \text{ K}$ ($\lambda_M = 9.8 \mu\text{m}$)

Bilan sur la vitre $2\epsilon \cdot \sigma T_1^4 = \alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T^4 + \alpha_3 \sigma T_a^4$

Rayonnement absorbé :

- $\alpha_1 E$ - solaire
- $\alpha_2 \sigma T^4$ - émis par la surface noire
- $\alpha_3 \sigma T_a^4$ - émis par l'environnement

Rayonnement émis :

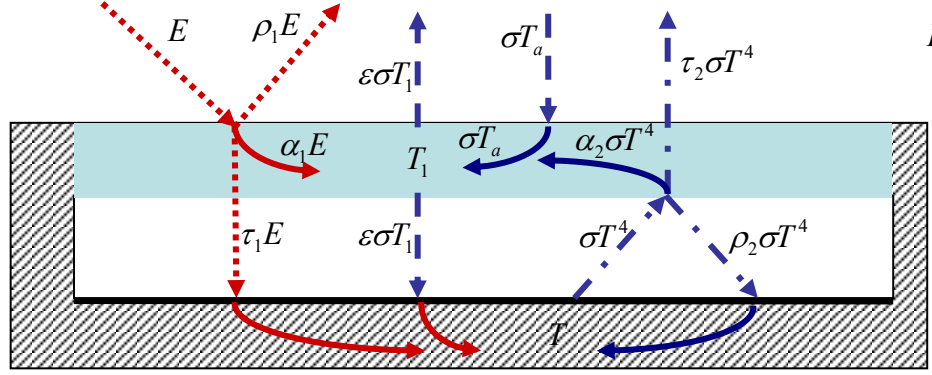
$2\epsilon \cdot \sigma T_1^4$ - les deux surfaces de la vitre

Lois du rayonnement

Corps réels

- Rayonnement
- Introduction
- Grandeurs utiles
- Définitions
- Relations
- Lois du rayonnement**
- Corps noir
- Corps réels**
- Echanges radiatifs
- Surfaces noires
- Surfaces grises opq

• Conséquences pratiques : Effet de serre



$E = 1000 \text{ W/m}^2$

- ⋯→ CLO ($0.25 \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$), $T = 5780 \text{ K}$ ($\lambda_M = 0.5 \mu\text{m}$)
- - → GLO ($3 \leq \lambda \leq 30 \mu\text{m}$), $T = 450 \text{ K}$ ($\lambda_M = 6.1 \mu\text{m}$)
- - → GLO ($5 \leq \lambda \leq 50 \mu\text{m}$), $T = 300 \text{ K}$ ($\lambda_M = 9.8 \mu\text{m}$)

Bilan sur la surface noire de l'absorbeur $\sigma T^4 = \tau_1 E + \varepsilon \sigma T_1^4 + \rho_2 \sigma T^4$

Rayonnement absorbé :

$\tau_1 E$ éclairement solaire transmise à travers la vitre

$\varepsilon \sigma T_1^4$ émis par la vitre

$\rho_2 \sigma T^4$ réfléchi par la vitre

Rayonnement émis :

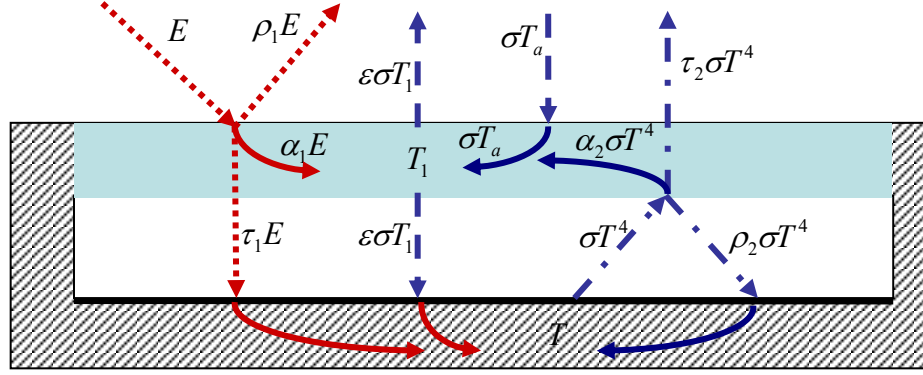
σT^4 - dans la direction de la vitre

Lois du rayonnement

Corps réels

- Rayonnement
- Introduction
- Grandeurs utiles
- Définitions
- Relations
- Lois du rayonnement**
- Corps noir
- Corps réels
- Echanges radiatifs
- Surfaces noires
- Surfaces grises opq

Conséquences pratiques : Effet de serre



$E = 1000 \text{ W/m}^2$

$$2\epsilon\sigma T_1^4 = \alpha_1 E + \alpha_2 \sigma T^4 + \alpha_3 \sigma T_a^4$$

$$\sigma T^4 = \tau_1 E + \rho_2 \sigma T^4 + \epsilon \sigma T_1^4$$

$$\Rightarrow T = 460 \text{ K} = 187 \text{ }^\circ\text{C}$$

- ⋯→ CLO ($0.25 \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$), $T = 5780 \text{ K}$ ($\lambda_M = 0.5 \mu\text{m}$)
- · → GLO ($3 \leq \lambda \leq 30 \mu\text{m}$), $T = 450 \text{ K}$ ($\lambda_M = 6.1 \mu\text{m}$)
- - → GLO ($5 \leq \lambda \leq 50 \mu\text{m}$), $T = 300 \text{ K}$ ($\lambda_M = 9.8 \mu\text{m}$)

Propriétés radiatives du verre

	Bande spectrale	Température de rayonnement	α	ρ	τ
1	$0.25 \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$	5780 K ($\lambda = 0.5 \mu\text{m}$)	0	0.05	0.95
2	$3 \leq \lambda \leq 30 \mu\text{m}$	450 K ($\lambda = 6.1 \mu\text{m}$)	0.65	0.30	0.05
3	$5 \leq \lambda \leq 50 \mu\text{m}$	300 K ($\lambda = 9.8 \mu\text{m}$)	1.00	0	0

Lois du rayonnement

Corps réels

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

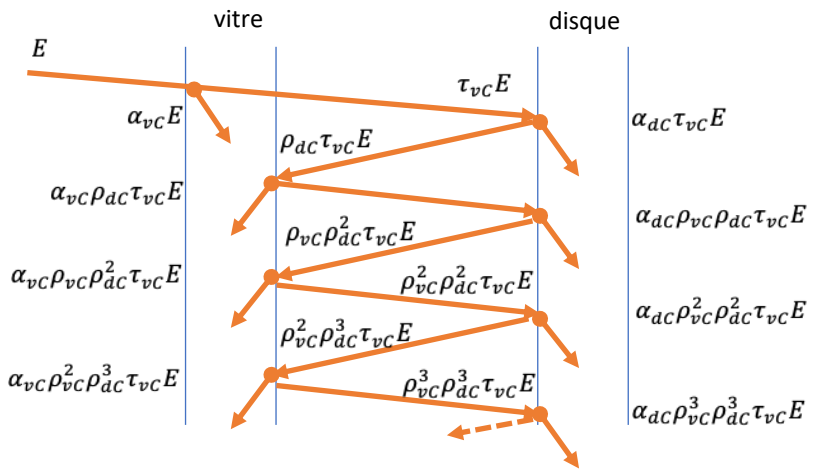
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Multireflexions : éclairage solaire**



$$\dot{Q}_{vE} = \left(\alpha_{vc} + \alpha_{vc} \rho_{dc} \tau_{vc} \sum_{k=0}^{\infty} (\rho_{vc} \rho_{dc})^k \right) E$$

$$\dot{Q}_{vE} = \alpha_{vc} \left(1 + \rho_{dc} \tau_{vc} \frac{1}{1 - \rho_{vc} \rho_{dc}} \right) E$$

$$\dot{Q}_{dE} = \left(\alpha_{dc} \tau_{vc} \sum_{k=0}^{\infty} (\rho_{vc} \rho_{dc})^k \right) E$$

$$\dot{Q}_{dE} = \alpha_{dc} \tau_{vc} \frac{1}{1 - \rho_{vc} \rho_{dc}} E$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} n^k = \frac{1}{1 - n}; n < 1$$

Lois du rayonnement

Corps réels

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

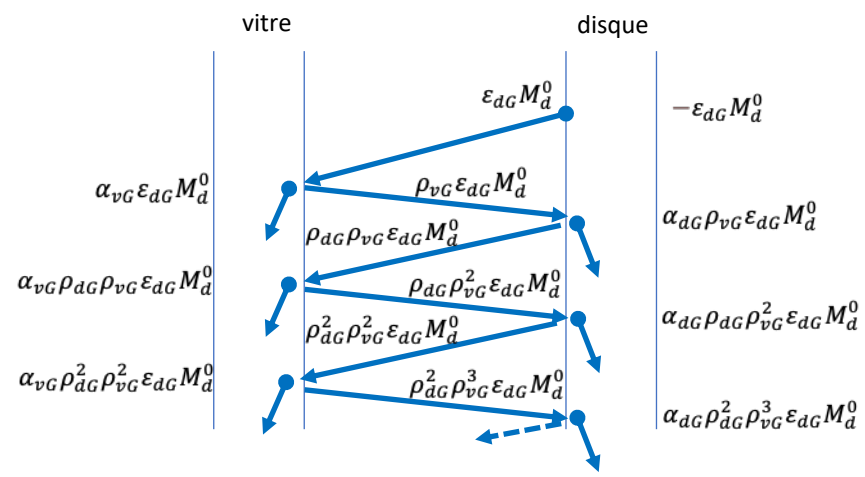
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

Multi-réflexions : emittance disque



$$\dot{Q}_{vM_d^0} = \alpha_{vG} \varepsilon_{dG} \left(\sum_{k=0}^{\infty} (\rho_{dG} \rho_{vG})^k \right) M_d^0$$

$$\dot{Q}_{dM_d^0} = -\varepsilon_{dG} M_d^0 + \alpha_{dG} \rho_{vG} \varepsilon_{dG} \left(\sum_{k=0}^{\infty} (\rho_{dG} \rho_{vG})^k \right) M_d^0$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} n^k = \frac{1}{1-n}; n < 1$$

$$\dot{Q}_{vM_d^0} = \alpha_{vG} \varepsilon_{dG} \frac{1}{1 - \rho_{dG} \rho_{vG}} M_d^0$$

$$\dot{Q}_{dM_d^0} = \left(\alpha_{dG} \rho_{vG} \varepsilon_{dG} \frac{1}{1 - \rho_{dG} \rho_{vG}} - \varepsilon_{dG} \right) M_d^0$$

Lois du rayonnement

Corps réels

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

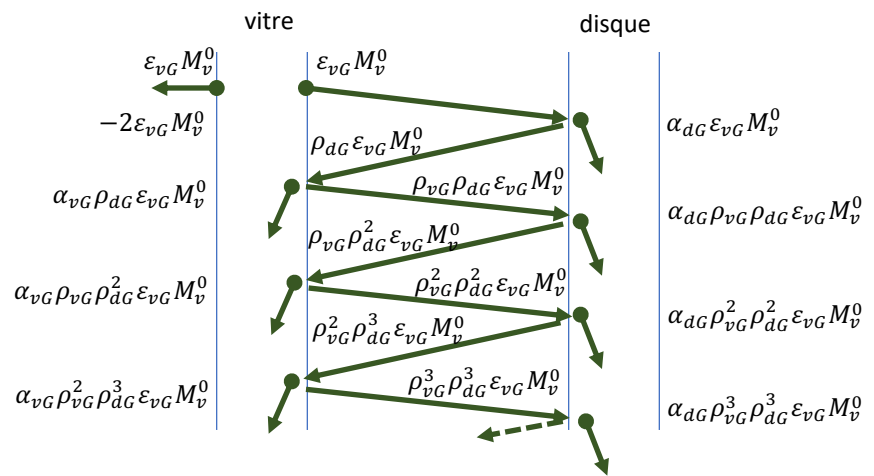
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

Multi-réflexions : emittance vitre



$$\dot{Q}_{vM_v^0} = -2\varepsilon_{vG} M_v^0 + \alpha_{vG} \rho_{dG} \varepsilon_{vG} \left(\sum_{k=0}^{\infty} (\rho_{vG} \rho_{dG})^k \right) M_v^0$$

$$\dot{Q}_{dM_v^0} = \alpha_{dG} \varepsilon_{vG} \left(\sum_{k=0}^{\infty} (\rho_{vG} \rho_{dG})^k \right) M_v^0$$

$$\dot{Q}_{vM_v^0} = \left(\alpha_{vG} \rho_{dG} \varepsilon_{vG} \frac{1}{1 - \rho_{vG} \rho_{dG}} - 2\varepsilon_{vG} \right) M_v^0$$

$$\dot{Q}_{dM_v^0} = \alpha_{dG} \varepsilon_{vG} \frac{1}{1 - \rho_{vG} \rho_{dG}} M_v^0$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} n^k = \frac{1}{1-n}; n < 1$$

Lois du rayonnement

Corps réels

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Conséquences pratiques : Effet de serre**

Propriétés radiatives du verre

	Bande spectrale	Température de rayonnement	α	ρ	τ
1	$0.25 \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$	5780 K ($\lambda = 0.5 \mu\text{m}$)	0	0.05	0.95
2	$5 \leq \lambda \leq 50 \mu\text{m}$	300 K ($\lambda = 9.8 \mu\text{m}$)	1.00	0	



Propriétés radiatives du verre

	Bande spectrale	Température de rayonnement	α	ρ	τ
1	$0.25 \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$	5780 K ($\lambda = 0.5 \mu\text{m}$)	0	0.05	0.95
2	$5 \leq \lambda \leq 50 \mu\text{m}$	300 K ($\lambda = 9.8 \mu\text{m}$)	1.00	0	0

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq



Propriétés radiatives du verre

	Bande spectrale	Température de rayonnement	α	ρ	τ
1	$0.25 \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$	5780 K ($\lambda = 0.5 \mu\text{m}$)	0	0.05	0.95
2	$5 \leq \lambda \leq 50 \mu\text{m}$	300 K ($\lambda = 9.8 \mu\text{m}$)	1.00	0	0

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opaques



Propriétés radiatives du verre

	Bande spectrale	Température de rayonnement	α	ρ	τ
1	$0.25 \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$	5780 K ($\lambda = 0.5 \mu\text{m}$)	0	0.05	0.95
2	$5 \leq \lambda \leq 50 \mu\text{m}$	300 K ($\lambda = 9.8 \mu\text{m}$)	1.00	0	0

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

