

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

Echanges radiatifs

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations entre grandeurs

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps gris

Echanges radiatifs

Entre surfaces noires

Entre surfaces grise opaques

Grandeurs utiles

Relations entre grandeurs

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

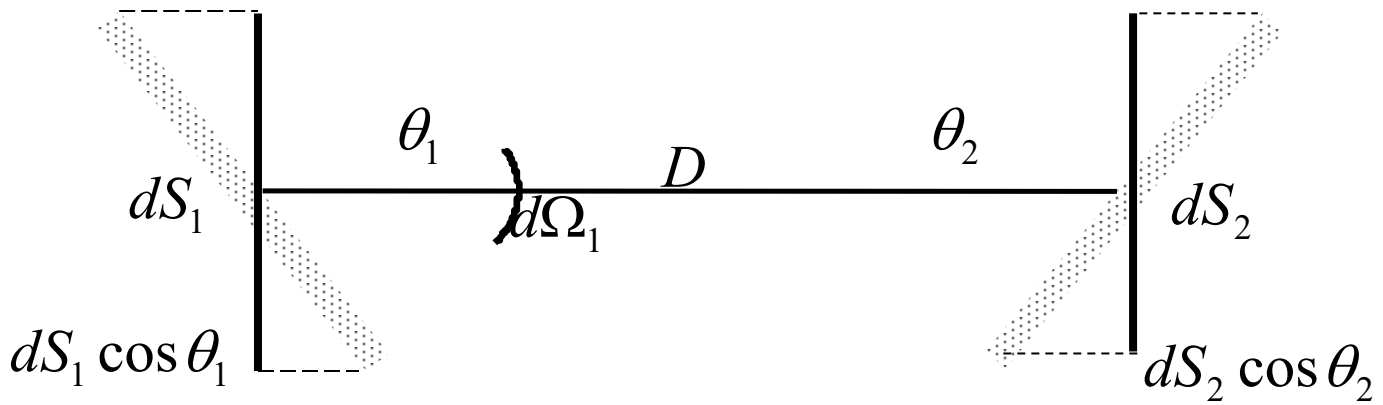
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Relation de Bouguer



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

$$d^2\Phi_{12} = \frac{M_1^0}{\pi} \cdot dS_1 \cos \theta_1 \cdot \frac{dS_2 \cos \theta_2}{D^2}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

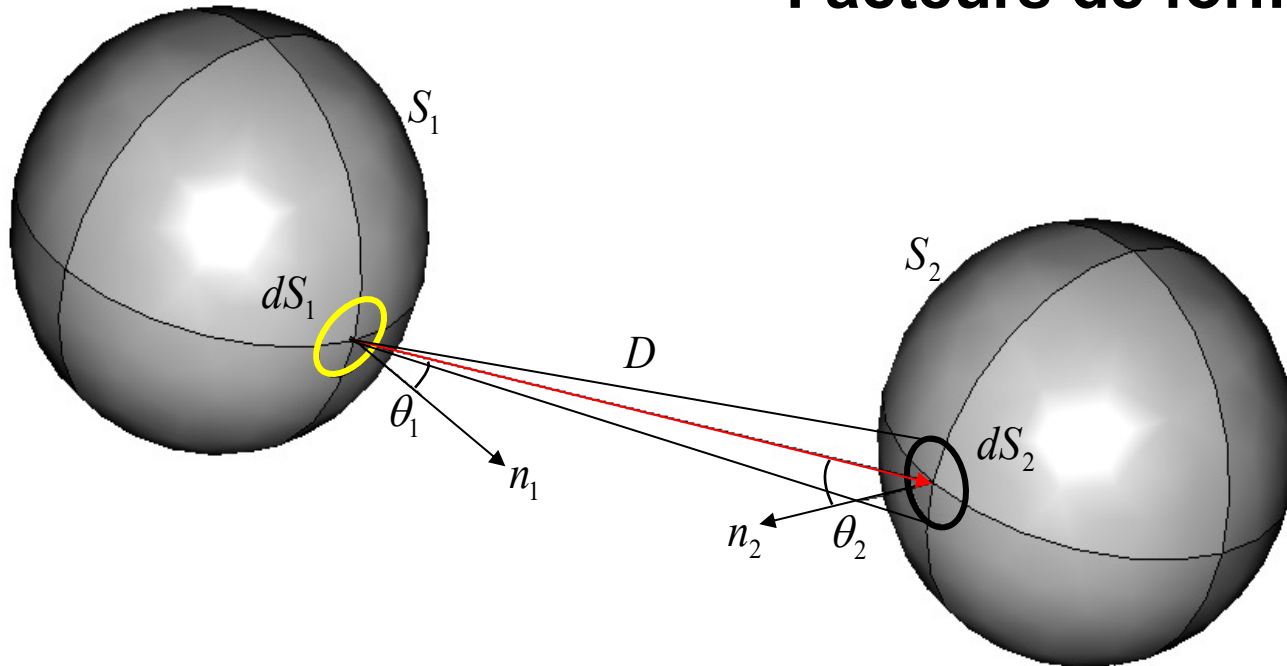
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

Facteurs de forme



$$d^2\Phi_{12} = L_1^0 \cdot dS_1 \cos \theta_1 \cdot d\Omega_1 = \frac{M_1^0}{\pi} \cdot dS_1 \cos \theta_1 \cdot \frac{dS_2 \cos \theta_2}{D^2}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

$$\Phi_{12} = M_1^0 \int_{S_1} \int_{S_2} \frac{dS_1 \cos \theta_1 \cdot dS_2 \cos \theta_2}{\pi \cdot D^2}$$

Facteur de forme

$$F_{12} \equiv \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1} = \frac{\Phi_{12}}{M_1^0 S_1} = \frac{1}{\pi S_1} \int_{S_1} \int_{S_2} \frac{dS_1 \cos \theta_1 \cdot dS_2 \cos \theta_2}{D^2}$$

$$F_{21} \equiv \frac{\Phi_{21}}{\Phi_2} = \frac{1}{\pi S_2} \int_{S_1} \int_{S_2} \frac{dS_1 \cos \theta_1 \cdot dS_2 \cos \theta_2}{D^2}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opaques

- **Relations entre les facteurs de forme**

- réciprocity

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

- complémentarité
(enceinte fermée)

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

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^n \Phi_{ij}$$

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^n F_{ij} \Phi_j$$

Echanges radiatifs

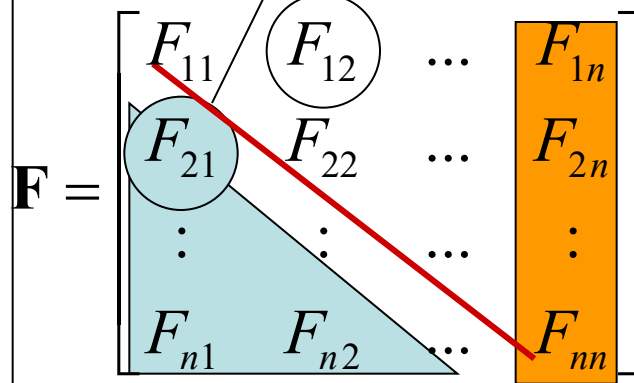
Surfaces noires

Rayonnement

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

• Relations entre les facteurs de forme

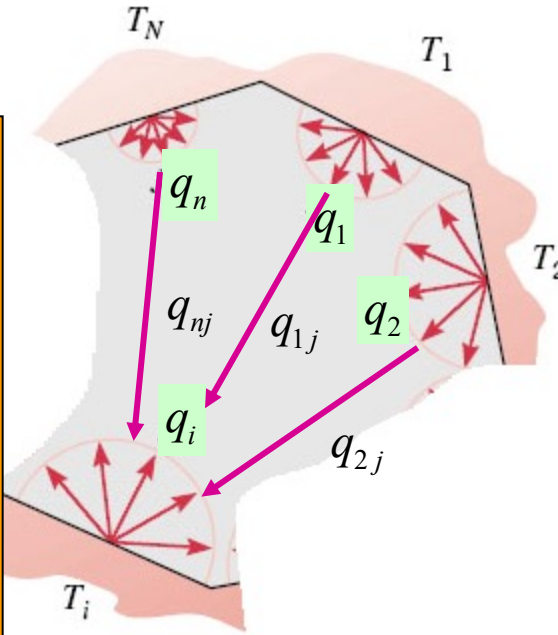
$$S_1 F_{12} = S_2 F_{21}$$



$$\rightarrow \sum_{j=1}^n F_{1j} = 1$$

$$\rightarrow \sum_{j=1}^n F_{2j} = 1$$

$$\rightarrow \sum_{j=1}^n F_{nj} = 1$$



$n(n - 1) / 2$ facteurs de forme à calculer

$$F_{jj} = 0$$

si la surface est plane ou concave

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs


Surfaces noires

Surfaces grises opq

• Exemples d'évaluation des facteurs de forme

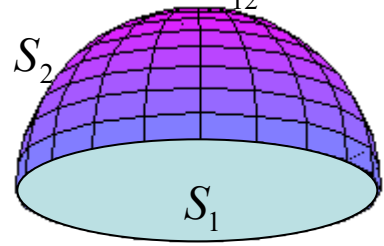
$F_{12} = F_{21} = 1$

$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$



$F_{12} = 1$ $S_1 F_{12} = S_2 F_{21}$ $F_{21} + F_{22} = 1$

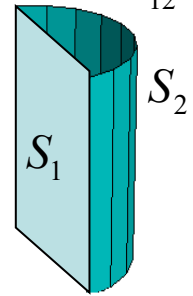
$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$



$F_{21} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{\pi R^2}{\frac{1}{2} 4\pi R^2} = \frac{1}{2}$ $F_{22} = \frac{1}{2}$

$F_{12} = 1$ $S_1 F_{12} = S_2 F_{21}$ $F_{21} + F_{22} = 1$

$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 2/\pi & 1 - 2/\pi \end{bmatrix}$



$F_{21} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{2Rh}{\pi Rh} = \frac{2}{\pi}$ $F_{22} = 1 - \frac{2}{\pi}$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

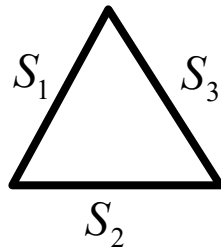
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Exemples d'évaluation des facteurs de forme



$$F_{11} = F_{22} = F_{33} = 0 \text{ (ne se voit pas elle - même)}$$

$$F_{12} \equiv \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1}; F_{13} \equiv \frac{\Phi_{13}}{\Phi_1};$$

$$\begin{aligned} \Phi_{12} = \Phi_{13} &\Rightarrow F_{12} = F_{13} & \begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{12} \\ F_{13} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ \Phi_1 = \Phi_{12} + \Phi_{13} &\Rightarrow F_{12} + F_{13} = 1 \end{aligned}$$

$$F_{12} = F_{13} = 0.5$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

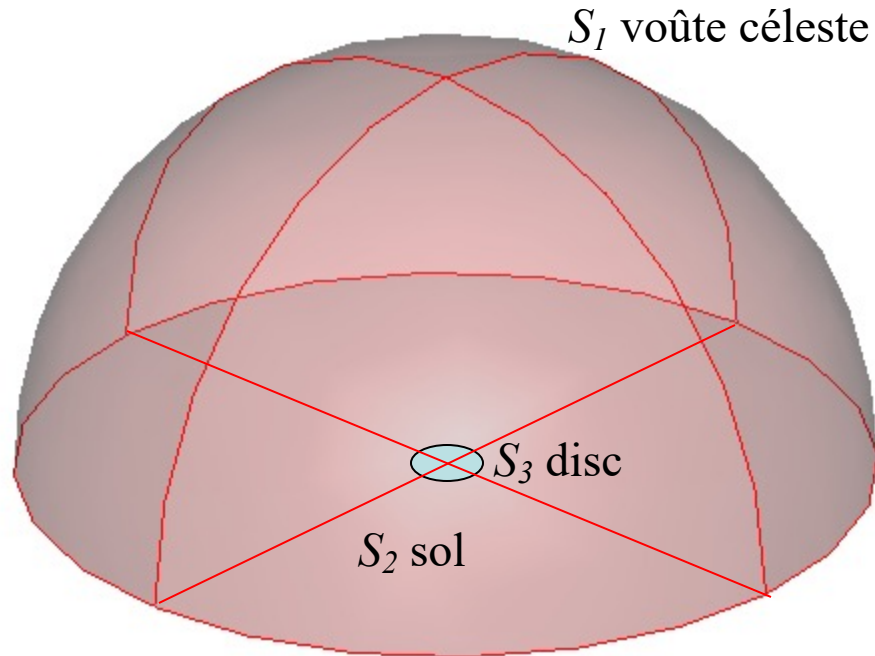
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Exemples d'évaluation des facteurs de forme



$$F_{13} = \frac{S_3}{S_1} F_{31} \cong 0$$

$$F_{23} = \frac{S_3}{S_2} F_{32} \cong 0$$

$$\begin{cases} F_{31} + F_{32} + F_{33} = 1 \\ F_{31} = F_{32} \\ F_{33} = 0 \text{ (ne se voit pas elle même)} \end{cases}$$

$$F_{31} = F_{32} = \frac{1}{2}$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \bullet & \bullet & 0 \\ \bullet & \bullet & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

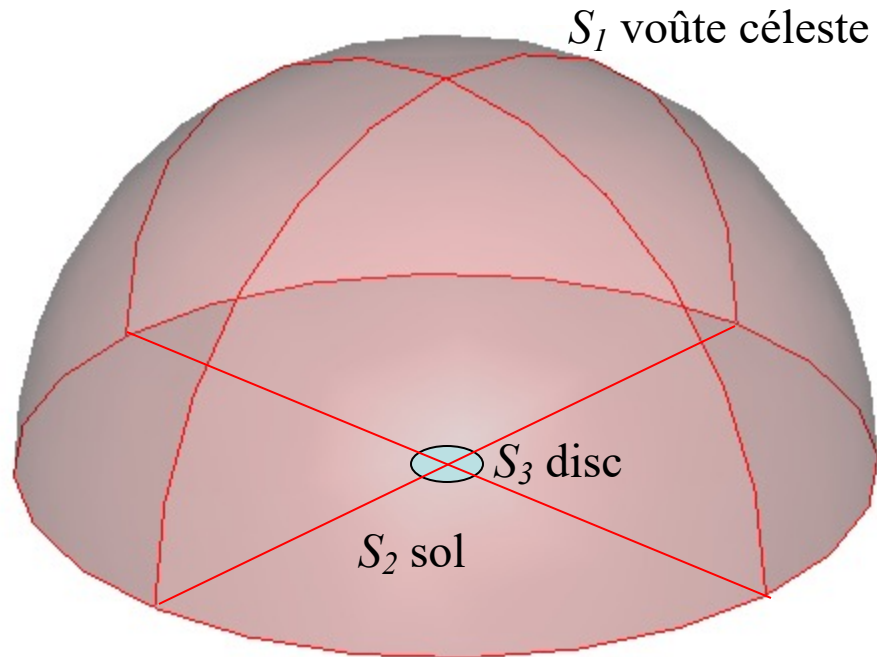
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Exemples d'évaluation des facteurs de forme



$$\begin{cases} F_{21} + F_{22} + F_{23} = 1 \\ F_{22} = 0 \quad (S_2 \text{ est plane, ne se voit pas elle même}) \\ F_{23} = 0 \quad (S_3 \ll S_2) \end{cases}$$

$$\Rightarrow F_{21} = 1$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \bullet & \bullet & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

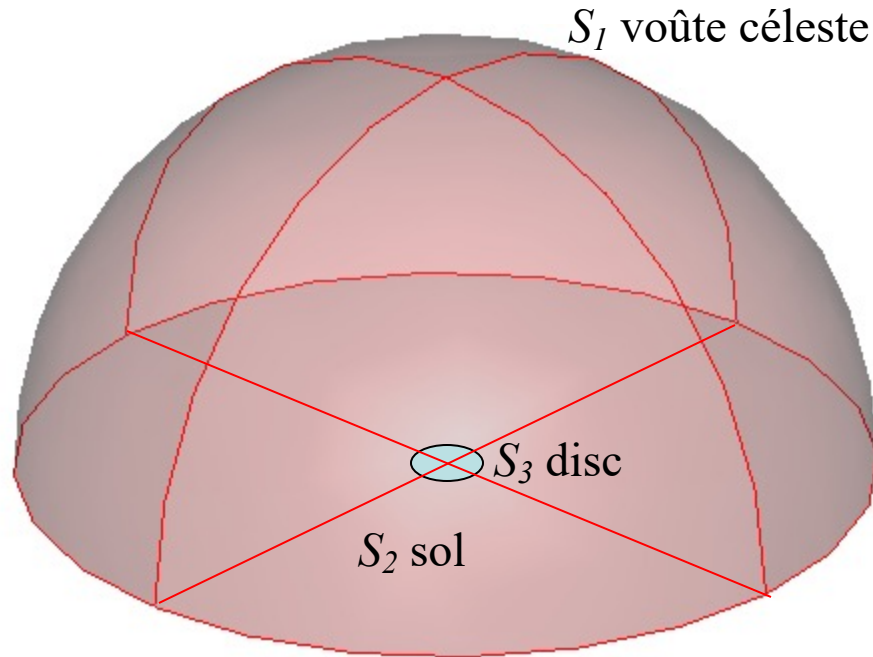
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

Exemples d'évaluation des facteurs de forme



$$S_1 F_{12} = S_2 F_{21} \text{ (réciprocité)}$$

$$S_1 = \frac{1}{2} 4\pi R^2; S_2 = \pi R^2$$

$$F_{21} = 1$$

$$\Rightarrow F_{12} = \frac{1}{2}$$

$$F_{11} + F_{12} + F_{13} = 1 \text{ (complem.)}$$

$$F_{13} = 0$$

$$\Rightarrow F_{11} = \frac{1}{2} \text{ (} S_1 \text{ se voit elle même)}$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

• Deux petites surfaces

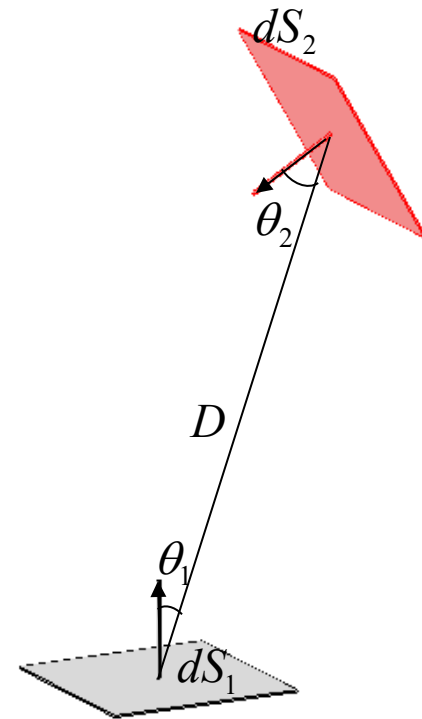
$$d^2\Phi_{12} = L_1^0 \cdot dS_1 \cos \theta_1 \cdot d\Omega_1 = \frac{M_1^0}{\pi} \cdot dS_1 \cos \theta_1 \cdot \frac{dS_2 \cos \theta_2}{D^2}$$

$$\Phi_{12} = M_1^0 \frac{dS_1 \cos \theta_1 \cdot dS_2 \cos \theta_2}{\pi D^2} \quad \Phi_1 = M_1^0 \cdot dS_1$$

$$F_{12} \equiv \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1} = \frac{\Phi_{12}}{M_1^0 \cdot dS_1} = \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{\pi D^2} dS_2$$

$$F_{21} = \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{\pi D^2} dS_1$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{\pi D^2} dS_2 \\ \frac{\cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2}{\pi D^2} dS_1 & 0 \end{bmatrix}$$



Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

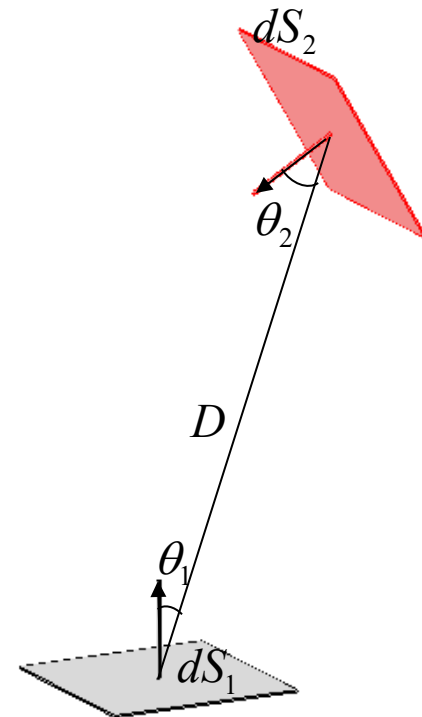
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Deux petites surfaces



Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

• Méthode d'Odrancek (sphère unitaire)

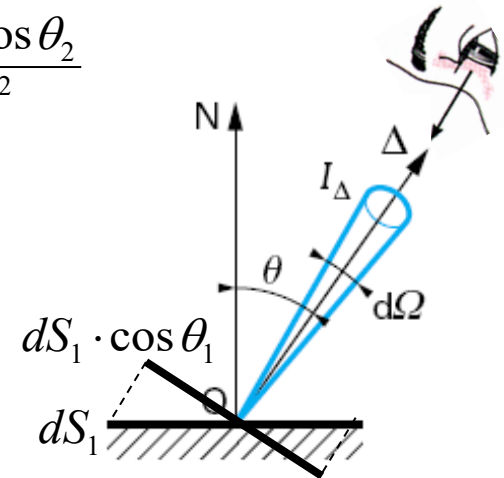
quand $S_1 \ll S_2$

$$d^2\Phi_{12} = L_1^0 \cdot dS_1 \cos \theta_1 \cdot d\Omega_1 = \frac{M_1^0}{\pi} \cdot dS_1 \cos \theta_1 \cdot \frac{dS_2 \cos \theta_2}{D^2}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{12} &= M_1^0 \int_{S_1} \int_{S_2} \frac{dS_1 \cos \theta_1 \cdot dS_2 \cos \theta_2}{\pi D^2} \\ &= M_1^0 dS_1 \int_{S_2} \frac{\cos \theta_1 \cdot dS_2 \cos \theta_2}{\pi D^2} \end{aligned}$$

$$\Phi_1 = M_1^0 \cdot dS_1$$

$$F_{12} \equiv \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1} = \frac{\Phi_{12}}{M_1^0 \cdot dS_1} = \frac{1}{\pi} \int_{S_2} \cos \theta_1 \cdot \frac{dS_2 \cos \theta_2}{D^2}$$



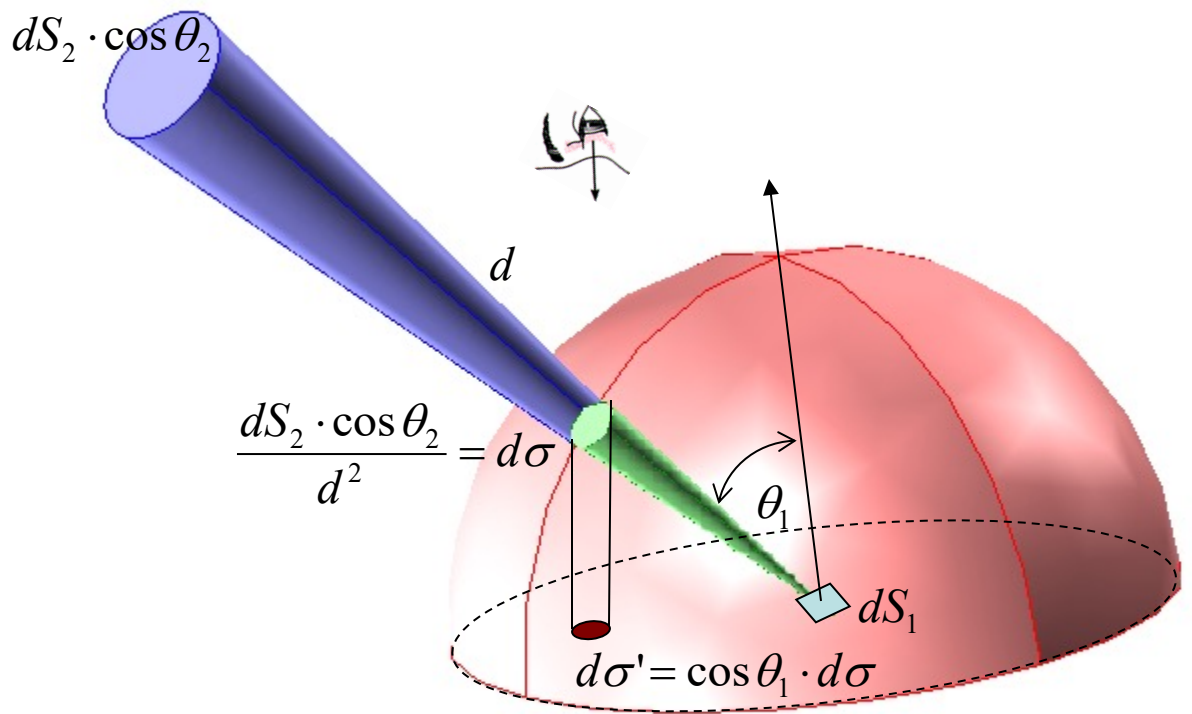
Echanges radiatifs

Surfaces noires

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

- **Méthode d'Odrancek (sphère unitaire)**

$$F_{12} \equiv \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1} = \frac{\Phi_{12}}{M_1^0 \cdot dS_1} = \frac{1}{\pi} \int_{S_2} \cos \theta_1 \cdot \frac{dS_2 \cos \theta_2}{D^2} = \frac{1}{\pi} \int_{\sigma} \cos \theta_1 \cdot d\sigma = \frac{1}{\pi} \int_{\sigma'} d\sigma' = \frac{1}{\pi} \sigma'$$



Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

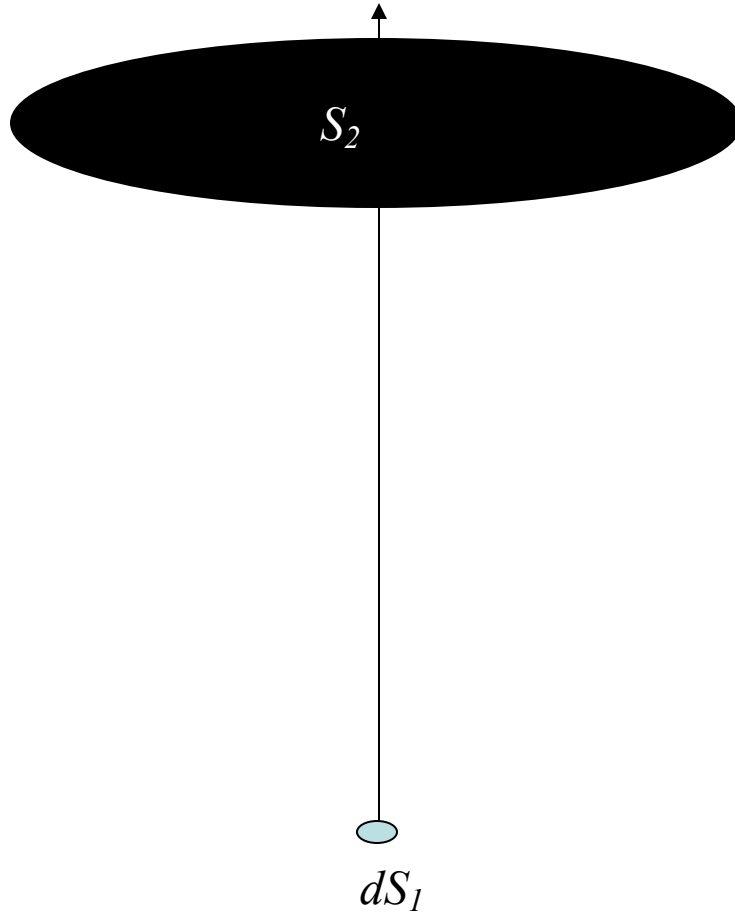
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opaques

- Méthode d'Odrancek (sphère unitaire)



$$F_{12} = \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

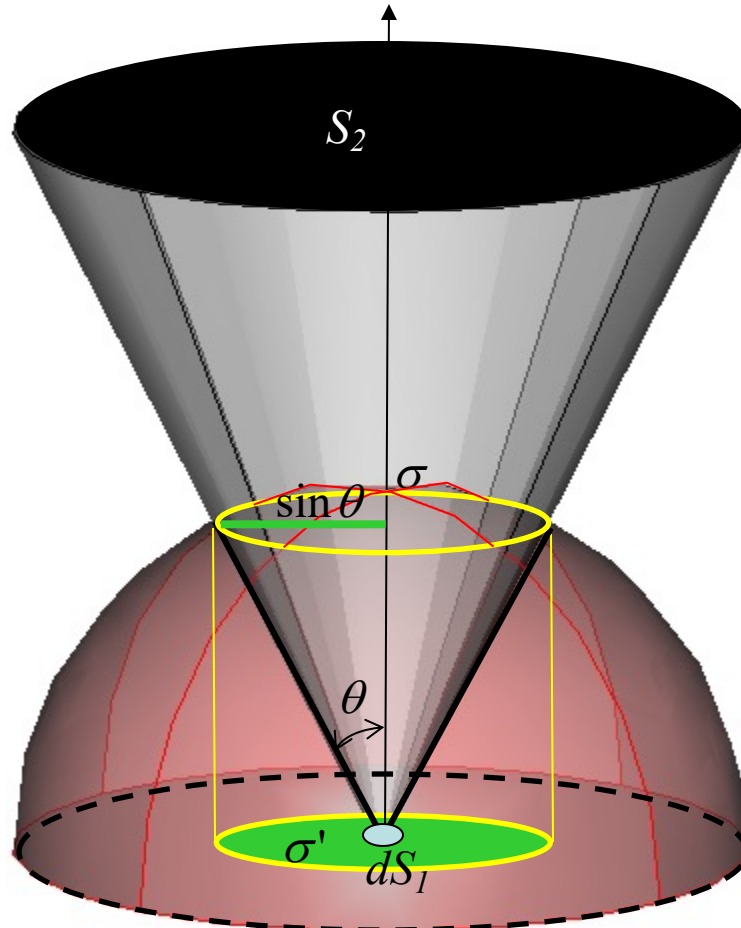
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Méthode d'Odrancek (sphère unitaire)



$$F_{12} = \frac{1}{\pi} \sigma' = \frac{1}{\pi} (\pi \cdot \sin^2 \theta) = \sin^2 \theta$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 & \sin^2 \theta \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

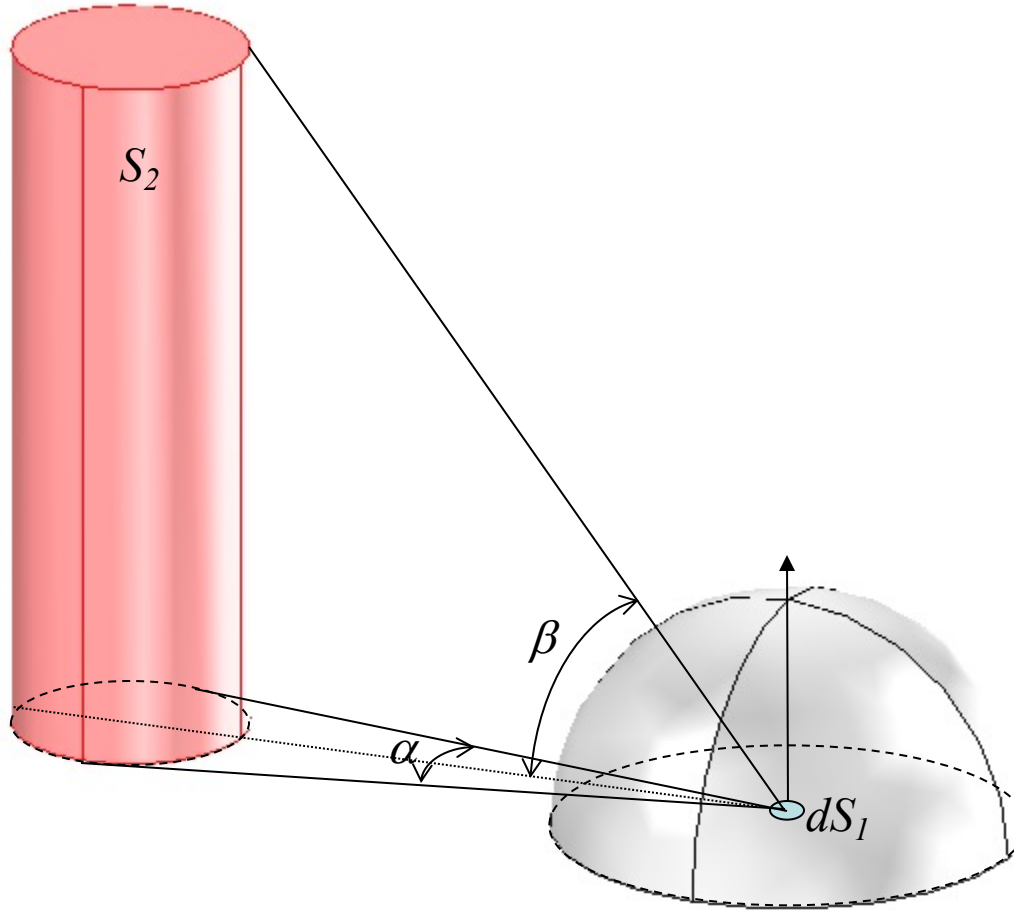
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Méthode d'Odrancek (sphère unitaire)



Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

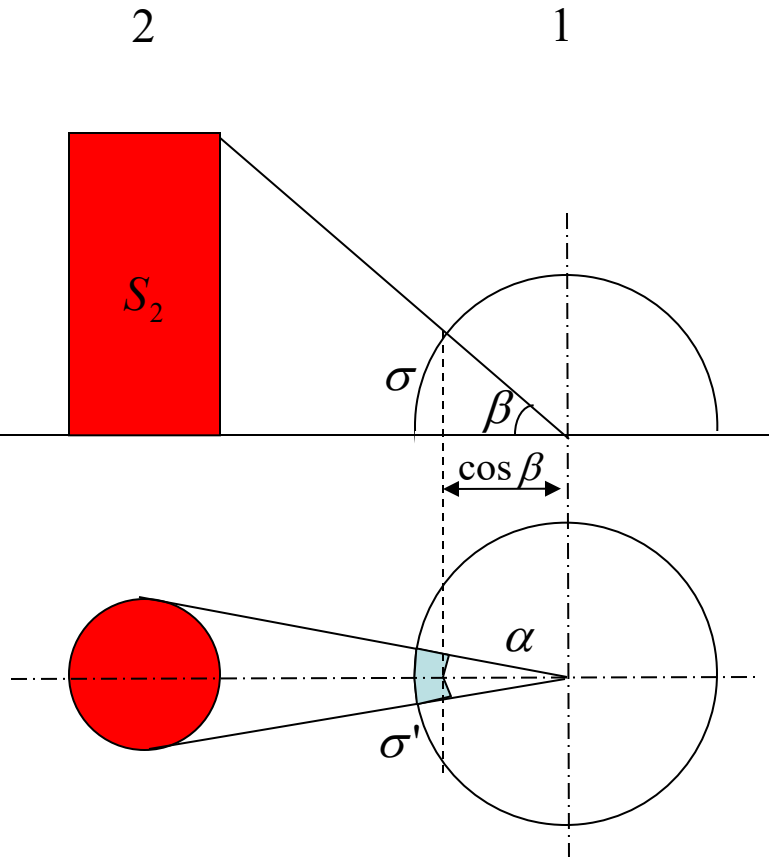
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Méthode d'Odrancek (sphère unitaire)



$$\sigma' = (\pi \cdot 1^2) \frac{\alpha}{2\pi} - (\pi \cdot \cos^2 \beta) \frac{\alpha}{2\pi}$$

$$= \frac{\alpha}{2} (1 - \cos^2 \beta)$$

$$= \frac{\alpha}{2} \sin^2 \beta$$

$$F_{12} = \frac{1}{\pi} \sigma' = \frac{\alpha}{2\pi} \sin^2 \beta$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

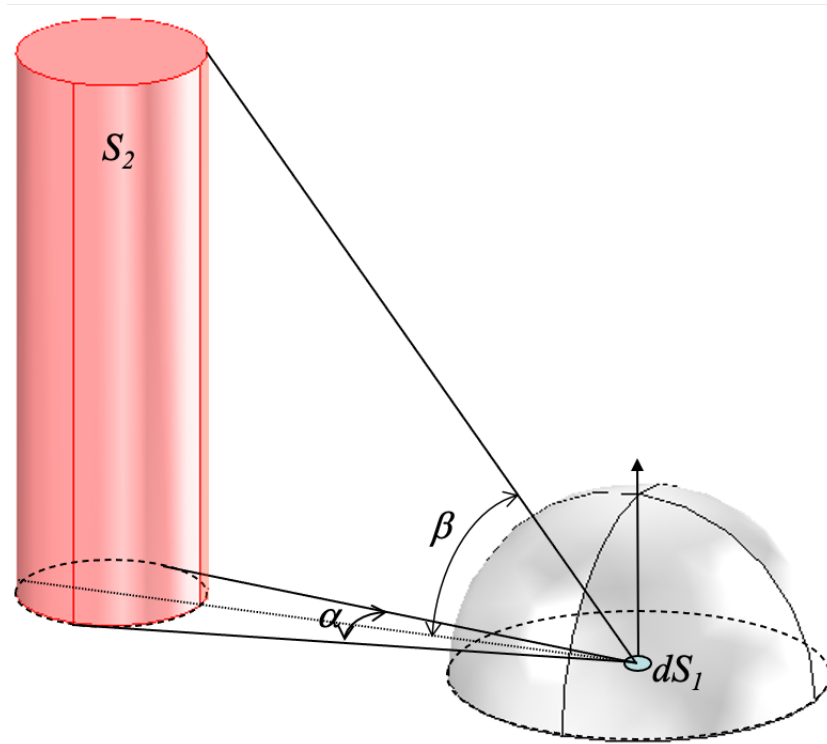
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

- Méthode d'Odrancek (sphère unitaire)
- quiz CM5_ff



Couleur de l'acier en fonction de la température

Colour	C
Faint Red	600
Dark Red	700
Cherry Red	800
Dull Orange	900
Orange	950
Lemon Yellow	1000
Yellow	1050
Bright Yellow	1100
White	1200
Glowing White	1300

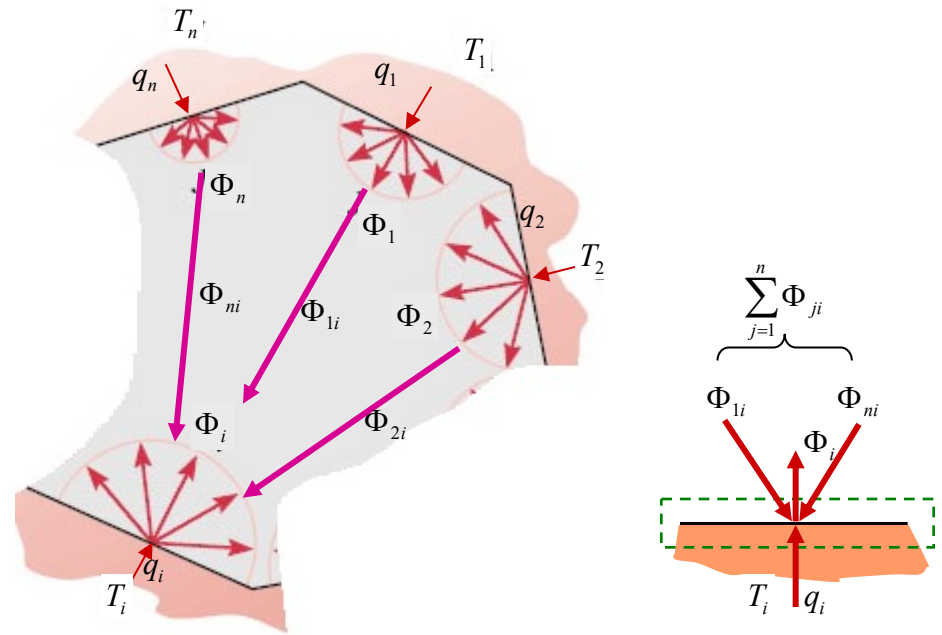
https://www.reddit.com/r/Blacksmith/comments/8tjlgj/simplified_colour_chart_for_forging_steel/

Echanges radiatifs

Surfaces noires

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

- Flux net
 - échanges dans une enceinte noire



$$q_i \equiv \underbrace{\Phi_{i,net}}_{\text{net}} = \underbrace{\Phi_i}_{\text{émis}} - \underbrace{\sum_{j=1}^n \Phi_{ji}}_{\text{reçu}} = \Phi_i - \sum_{j=1}^n F_{ji} \Phi_j = S_i M_i^0 - \sum_{j=1}^n S_j F_{ji} M_j^0$$

Surfaces noires

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

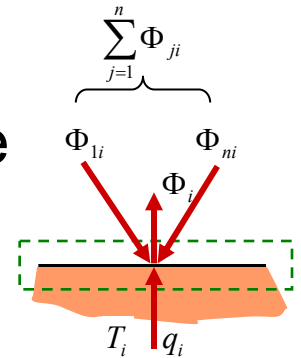
Surfaces grises opq

- **Flux net**
 - échanges dans une enceinte noire

$\Phi_{i,net} > 0 \Rightarrow$ perte d'énergie par rayonnement

$\Phi_{i,net} < 0 \Rightarrow$ gain d'énergie par rayonnement
(surface reliée à l'extérieure – échange radiatif)

$\Phi_{i,net} = 0 \Rightarrow$ gains égales aux pertes
(surface isolée de l'extérieure – adiabatique)



Echanges radiatifs

Surfaces noires

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

Flux net

– échanges dans une enceinte noire

$$S_i F_{ij} = S_j F_{ji} \Rightarrow \underbrace{\Phi_{i,net}}_{\text{net}} = \underbrace{S_i M_i^0}_{\text{émis}} - \underbrace{\sum_{j=1}^n S_j F_{ji} M_j^0}_{\text{reçu}} = S_i M_i^0 - S_i \sum_{j=1}^n F_{ij} M_j^0$$

Réciprocité

$$\sum_{j=1}^n F_{ij} = 1 \Rightarrow \Phi_{i,net} = S_i M_i^0 - S_i \sum_{j=1}^n F_{ij} M_j^0 = S_i M_i^0 \sum_{j=1}^n F_{ij} - S_i \sum_{j=1}^n F_{ij} M_j^0$$

Complémentarité

$$\Phi_{i,net} = \underbrace{\sum_{j=1}^n S_i F_{ij} (M_i^0 - M_j^0)}_{\text{flux échangé entre les surfaces noires } S_i \rightarrow S_j}$$

$$\Phi_{i,net} = \sum_{j=1}^n S_i F_{ij} (M_i^0 - M_j^0) = \sum_{j=1}^n (\underbrace{S_i F_{ij} M_i^0}_{\text{émis}} - \underbrace{S_j F_{ji} M_j^0}_{\text{reçu}}) = \sum_{j=1}^n \underbrace{\Phi_{ij,net}}_{\text{net}}$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

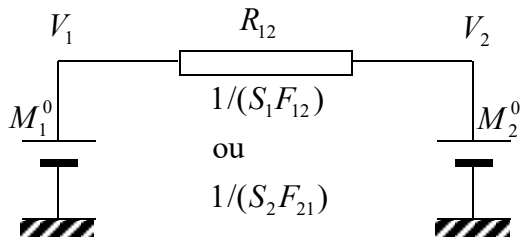
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

• Circuit thermique



$$q_{ij} = \underbrace{\Phi}_{ij,net} = \underbrace{S_i F_{ij}}_{R^{-1}} (\underbrace{M_i^0 - M_j^0}_{(\theta_i - \theta_j)})$$

$$\Phi_{12,net} = \overbrace{S_1 F_{12}}^{1/R} (M_1^0 - M_2^0) = \overbrace{S_2 F_{21}}^{1/R} (M_1^0 - M_2^0)$$

$S_1 \rightarrow S_2$

$$\Phi_{21,net} = \overbrace{S_2 F_{21}}^{1/R} (M_2^0 - M_1^0) = \overbrace{S_1 F_{12}}^{1/R} (M_2^0 - M_1^0)$$

$S_2 \rightarrow S_1$

Echanges radiatifs

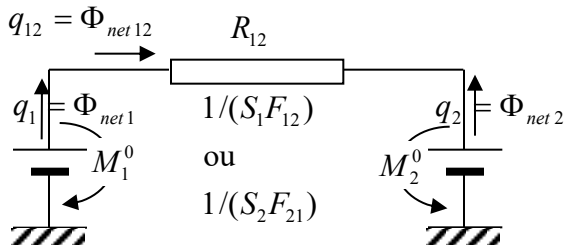
Surfaces noires

Rayonnement

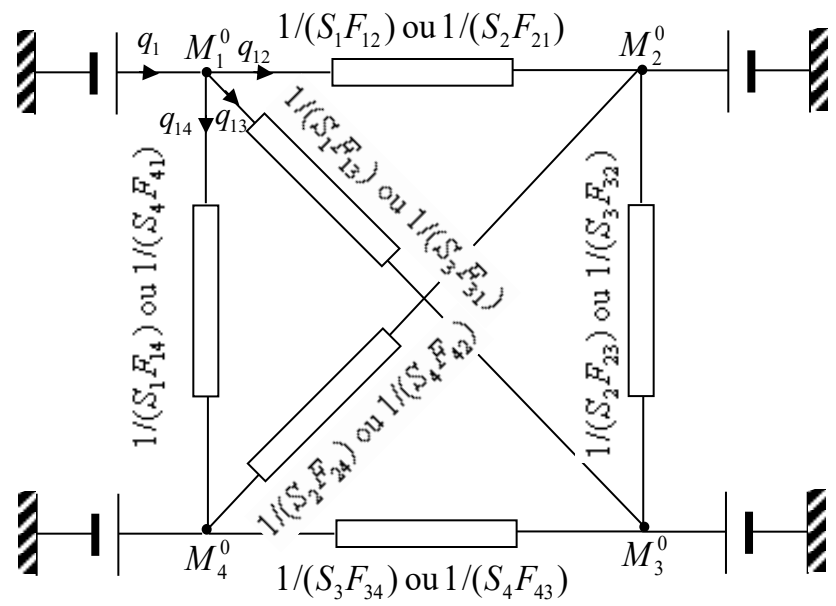
- Introduction
- Grandeurs utiles
 - Définitions
 - Relations
- Lois du rayonnement
 - Corps noir
 - Corps réels
- Echanges radiatifs
 - Surfaces noires
 - Surfaces grises opq

• Circuit thermique

$$q_{ij} \equiv \underbrace{\Phi_{net\ ij}}_q = \underbrace{S_i F_{ij}}_{R^{-1}} (\underbrace{M_i^0 - M_j^0}_{\theta_i - \theta_j})$$



$$q_{12} \equiv \Phi_{net\ 12} = S_1 F_{12} (M_1^0 - M_2^0)$$



$$q_1 \equiv \Phi_{net\ 1} = \sum_{j=2}^4 S_1 F_{1j} (M_1^0 - M_j^0) = \sum_{j=2}^4 \Phi_{net\ 1j} = \sum_{j=2}^4 q_{1j}$$

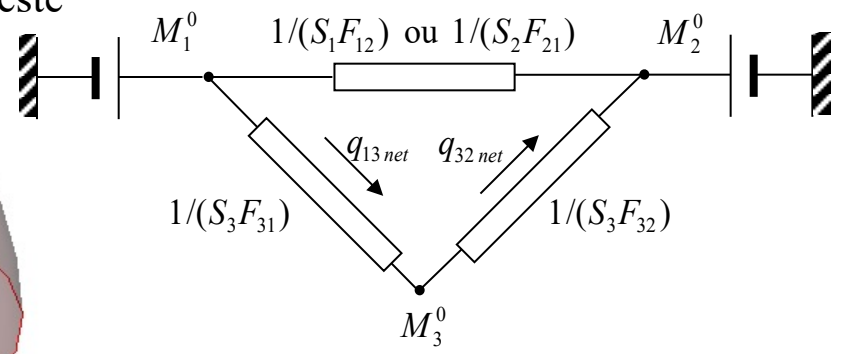
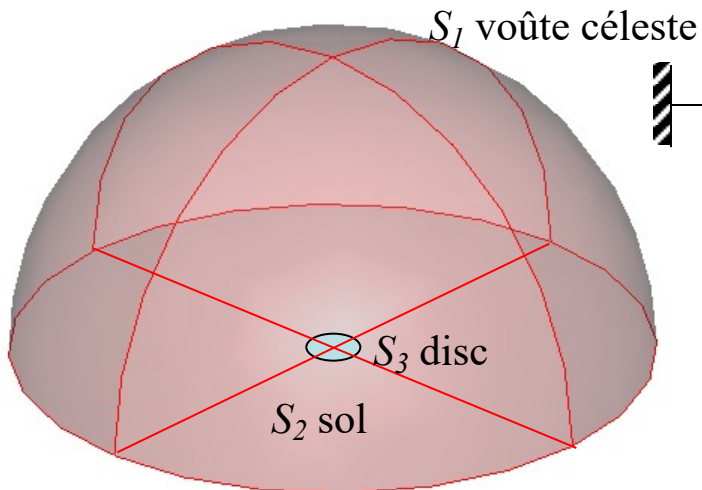
Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

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

• Circuit thermique



Bilan énergétique pour S_3

$$\Phi_{3,net} = \Phi_3 - \sum_{j=1}^2 \Phi_{j3}; \quad 0 = \Phi_3 - \sum_{j=1}^2 F_{j3} \Phi_j$$

$$\Phi_3 = \sum_{j=1}^2 F_{j3} \Phi_j$$

$$S_3 M_3^0 = F_{13} S_1 M_1^0 + F_{23} S_2 M_2^0$$

$$S_3 M_3^0 = F_{31} S_3 M_1^0 + F_{32} S_3 M_2^0$$

$$M_3^0 = F_{31} M_1^0 + F_{32} M_2^0$$

Circuit thermique pour S_3

$$q_{13} = q_{32}$$

$$S_3 F_{31} (M_1^0 - M_3^0) = S_3 F_{32} (M_3^0 - M_2^0)$$

$$F_{31} M_1^0 - F_{31} M_3^0 = F_{32} M_3^0 - F_{32} M_2^0$$

$$\underbrace{(F_{31} + F_{32})}_{=1} M_3^0 = F_{31} M_1^0 + F_{32} M_2^0$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

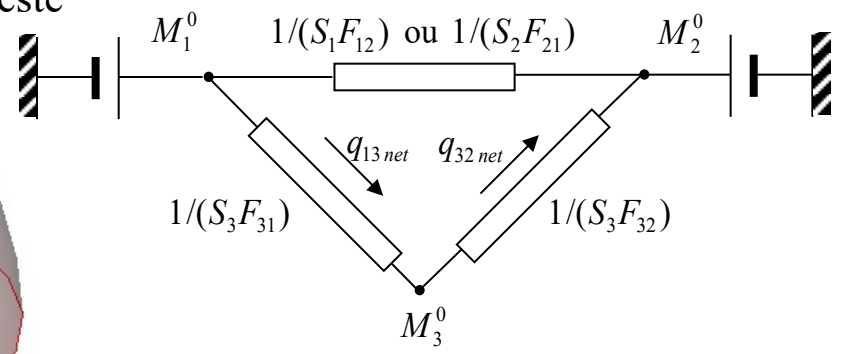
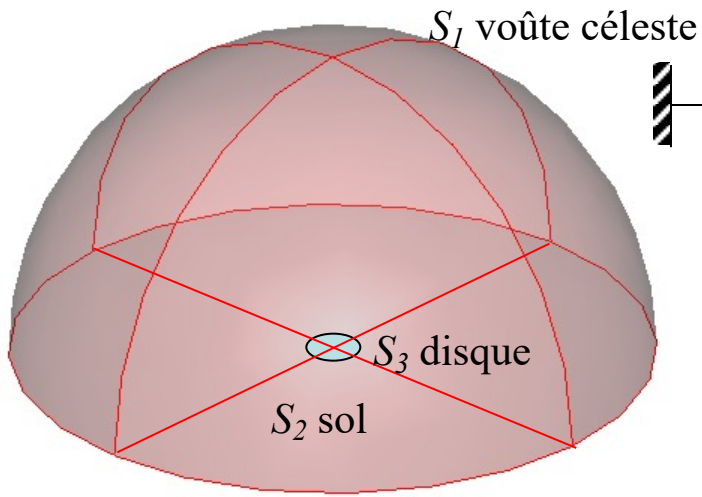
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises opq

• Circuit thermique



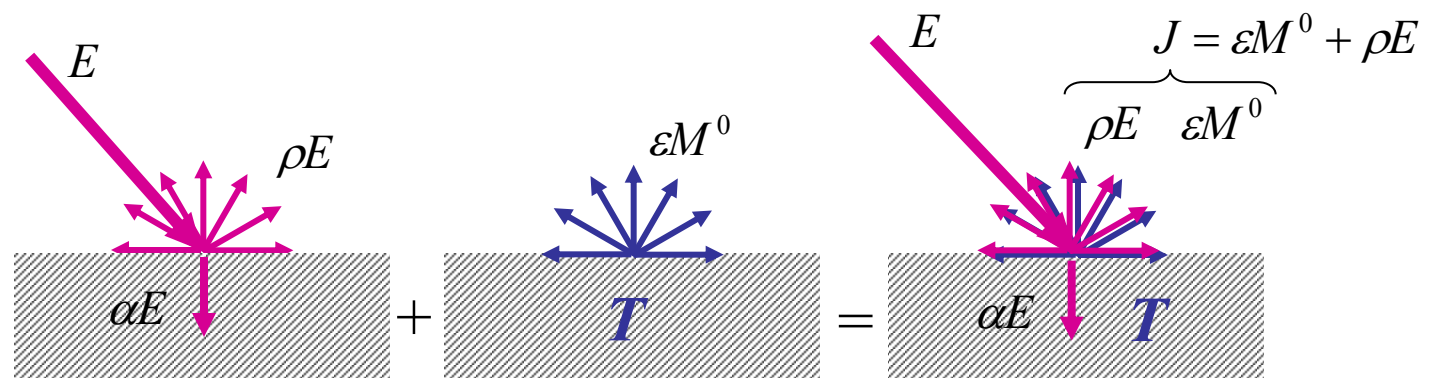
Quiz CM5_tv

Echanges radiatifs

Surfaces grises opaques et diffusantes

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

• Radiosité



$$J = \epsilon M^0 + \rho E$$

Surfaces opaques $\tau = 0$

$$\Rightarrow \rho = 1 - \alpha = 1 - \epsilon$$

$$\Rightarrow J = \epsilon M^0 + (1 - \epsilon) E$$

← égaux si même longueur d'onde !

ou corps gris

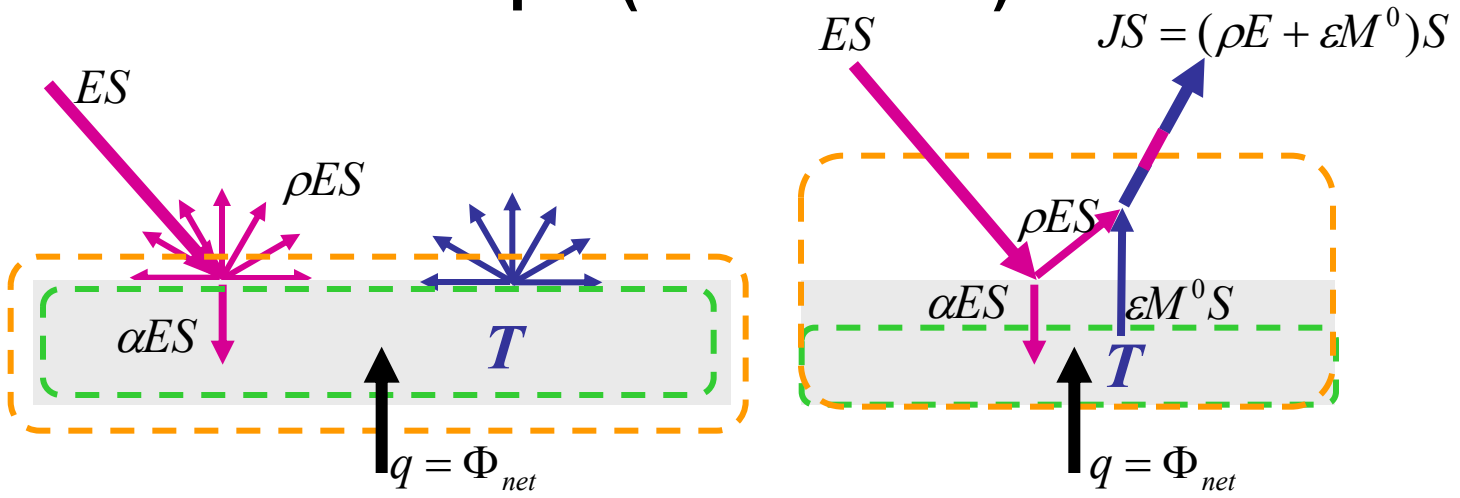
Echanges radiatifs

Surfaces grises opaques et diffusantes

Rayonnement

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

• **Circuit thermique (à la surface)**



$\Phi_{net} = \epsilon M^0 S - \alpha ES$

$\Phi_{net} = JS - ES$

$$= (\rho E + \epsilon M^0)S - ES$$

$$= \epsilon M^0 S - (1 - \rho)ES$$

$$= \epsilon M^0 S - \alpha ES$$

Echanges radiatifs

Surfaces grises opaques et diffusantes

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises

• Circuit thermique (à la surface)

$$\Phi_{net} = (\varepsilon M^0 - \alpha E)S$$

$$\Phi_{net} = \left[\varepsilon M^0 - \alpha \left(\frac{1}{\rho} J - \frac{\varepsilon}{\rho} M^0 \right) \right] S$$

$$\Phi_{net} = \left[\frac{\varepsilon(\rho + \alpha)}{\rho} M^0 - \frac{\alpha}{\rho} J \right] S$$

$$\Phi_{net} = \frac{\varepsilon}{\rho} (M^0 - J)S$$

$$\Phi_{net} = \frac{\varepsilon S}{1 - \varepsilon} (M^0 - J)$$

$$J = \varepsilon M^0 + \rho E$$

$$E = \frac{1}{\rho} J - \frac{\varepsilon}{\rho} M^0$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

$$\alpha + \rho = 1$$

$$\text{corps gris} \Rightarrow \alpha = \varepsilon$$

$$\varepsilon + \rho = 1$$

$$\rho = 1 - \varepsilon$$

Echanges radiatifs

Surfaces grises opaques et diffusantes

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

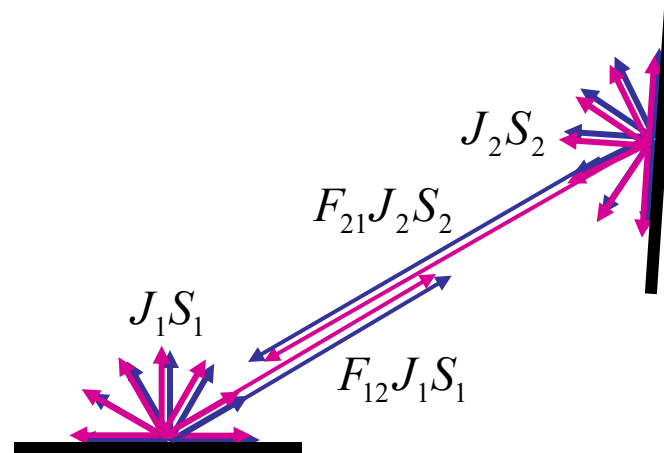
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises

- Circuit thermique (entre surfaces)



$$\underbrace{\Phi_{12,net}}_{\text{net}} = \underbrace{S_1 F_{12} J_1}_{\text{émis}} - \underbrace{S_2 F_{21} J_2}_{\text{reçu}} = S_1 F_{12} (J_1 - J_2) = S_2 F_{21} (J_1 - J_2)$$

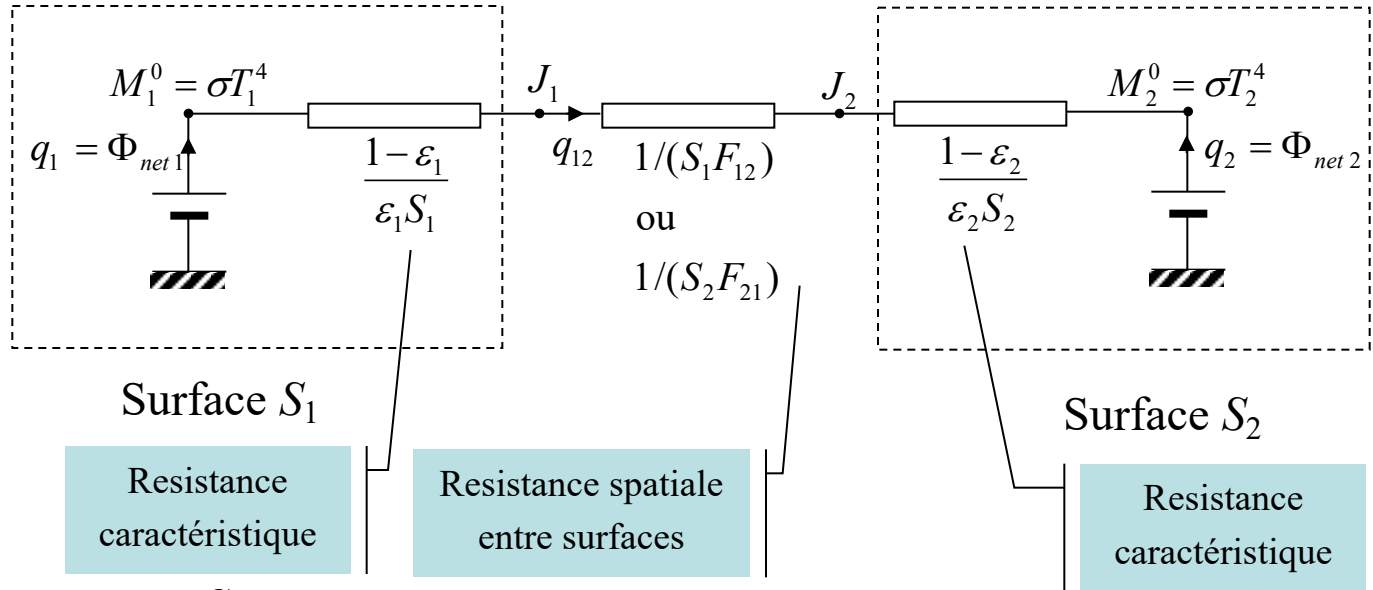
Echanges radiatifs

Surfaces grises opaques et diffusantes

Rayonnement

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

• Circuit thermique



$$q_1 \equiv \Phi_{1,net} = \frac{\epsilon_1 S_1}{1 - \epsilon_1} (M_1^0 - J_1)$$

$$q_{12} \equiv \Phi_{12,net} = S_1 F_{12} (J_1^0 - J_2^0) = S_2 F_{21} (J_1^0 - J_2^0)$$

$$q_2 \equiv \Phi_{2,net} = \frac{\epsilon_2 S_2}{1 - \epsilon_2} (M_2^0 - J_2)$$

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Rayonnement

Introduction

Grandeurs utiles

Définitions

Relations

Lois du rayonnement

Corps noir

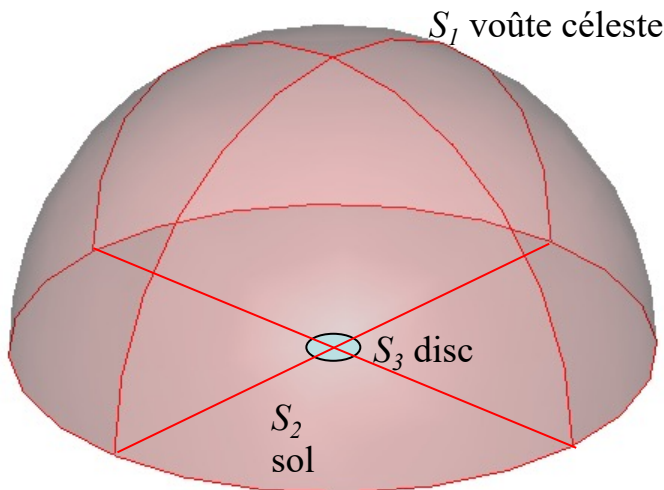
Corps réels

Echanges radiatifs

Surfaces noires

Surfaces grises

• Circuit thermique



Bilan énergétique $\Phi_{3,net} = \Phi_{3,émis} - \Phi_{3,abs} = 0$

$$\Phi_{3,net} = \epsilon_3 M_3^0 S_3 - \alpha_3 E_3 S_3 = 0$$

$$\Phi_{3,net} = \frac{\epsilon}{1 - \epsilon} (M_3^0 - J_3) S_3 = 0$$

$$\Rightarrow M_3^0 = J_3$$

