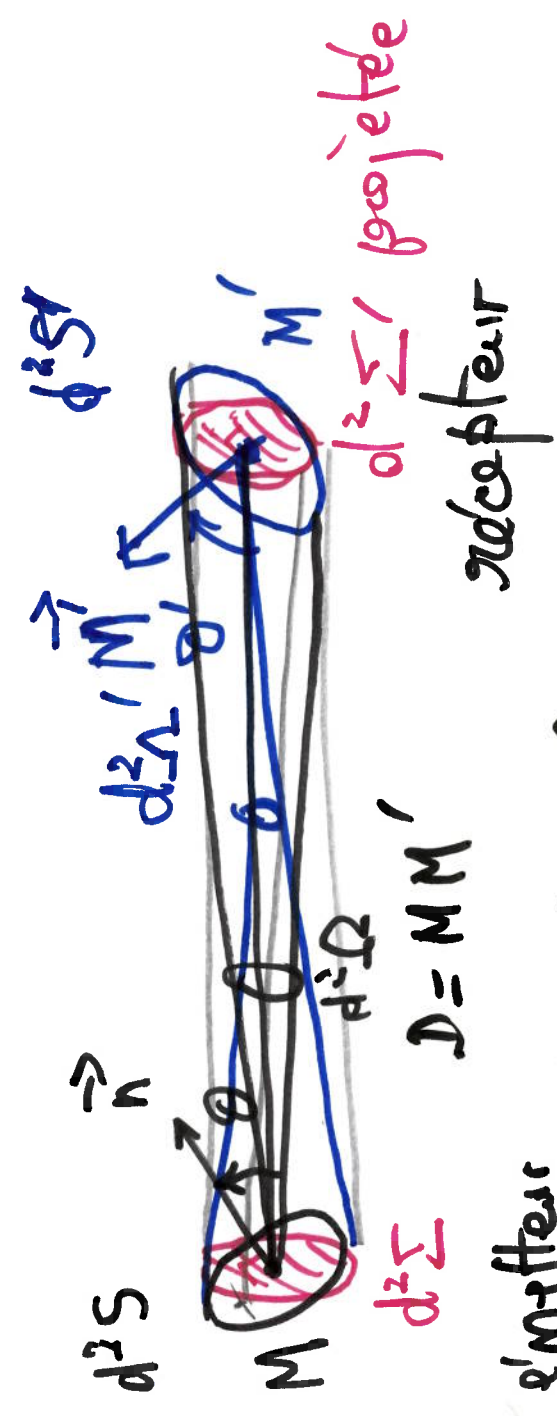


①

$$\Omega = 2\pi (1 - \cos \alpha) \quad \cos \alpha = \cos^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$\Omega = 4\pi \sin^2 \left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad \leftarrow \cos \alpha = 1 - 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$$

I.2 Etendue géométrique d'un faisceau



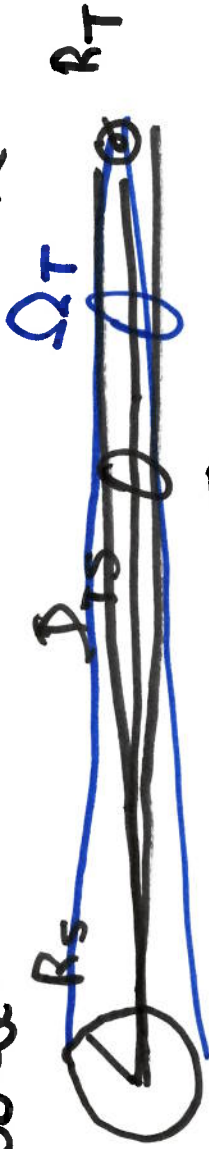
$d^2\Omega = \frac{d^2\Sigma'}{D^2} = \frac{d^2\Sigma' \cos \theta'}{D^2}$     $d^2\Omega' = \frac{d^2\Sigma \cos \theta}{D^2}$   
 dim des surf  $\ll D$



(3)

Solül

Terre



$$\frac{R_T}{D_{TS}} = \frac{64 \cdot 10^{-3}}{150} \lll 1$$

$$\frac{R_S}{D_{TS}} \approx \frac{0.75}{150} \lll 1$$

$$R_T = 6400 \text{ km}$$

$$R_S = 0.7 \cdot 10^6 \text{ km}$$

$$D_{TS} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$$

$$L_{TS} = \frac{L_S L_T}{D_{TS}^2} = \frac{\pi R_S^2 \pi R_T^2}{D_{TS}^2} = \pi^2 \left( \frac{R_S}{D_{TS}} \right)^2 \times R_T^2$$

$$L_{TS} = 10 \frac{1}{200} (64 \cdot 10^2)^2 \text{ km}^2 \text{ s}$$

$$L_{TS} \approx 10 \times 32^2 \approx 10^4 \text{ km}^2 \text{ s} = 10^4 \text{ m}^2 \text{ s}$$

# ④ Grandes Energétiques ≠ lumineuses

## II.1 Flux énergétique $\Phi$ (W)

$\Phi$  Puiss du ray<sup>t</sup> EM

flux du secteur de

Foynip à travers une surface

émis par source  
transporté dans  
le tube  
intercepté par récepteur

$\Delta$  flux ≠ flux surfacique ( $W m^{-2}$ )

Répartition spectrale du flux

$$e_n d \quad \varphi_n = \left| \frac{d\Phi}{d\lambda} \right| \quad (W m^{-2})$$

(5)

en fréquence  $\nu$   $\phi_\nu = \left| \frac{d\phi}{d\nu} \right|$  (W Hz<sup>-1</sup>)

$d = \frac{c}{\nu}$  non linéaire  $(d\lambda = -\frac{c}{\nu^2} d\nu = -\frac{d^2}{c} d\nu)$

$$\phi_\lambda = \left| \frac{d\phi}{d\lambda} \right| = \left| \frac{d\phi}{d\nu} \right| \left| \frac{d\nu}{d\lambda} \right| = \frac{c}{\lambda^2} \phi_\nu$$

$\phi_\nu = \left( \frac{d^2}{c} \right) \phi_\lambda$   $d^* =$  du max de  $\phi_\lambda$   
 $\rightarrow$  avec  $d$   $\nu^* =$  fréq du max de  $\phi_\nu$

$d^* \nu^* \neq c$   
 $\downarrow$  max de  $\phi_\nu$  à  $\lambda > d^*$

$$\Phi(\nu_1, \nu_2) = \int_{\nu_1}^{\nu_2} \phi_\nu(\nu) d\nu$$

(b) II.2 Luminance énergétique  $L$  ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ )

radiance

$L =$  flux par unité / d'extensue périmétrique  
 /  $A$  d'angle solide  
 de surface projetée

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA d\Omega} \quad \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{sr}}\right)$$



$$L = \frac{d^2\Phi}{d^2\Sigma d^2\Omega} = \frac{d^2\Phi}{d^2\Sigma \cos\theta d^2\Omega}$$

$L = L(\vec{x})$  flux lumineux si  
 $L$  indep dt de  $\vec{u}$

II-3 Intensity énergétique  $I$  ( $W m^{-2}$ )  
 (7) radiance intensity

$$I(\vec{r}) = \frac{d\Phi}{d^2\Omega} = \left( \frac{W}{sr} \right)$$



intensité associée  $S$   
 à une surface  
 élémentaire  $d^2I = \frac{d^4\Phi}{d^2\Omega}$

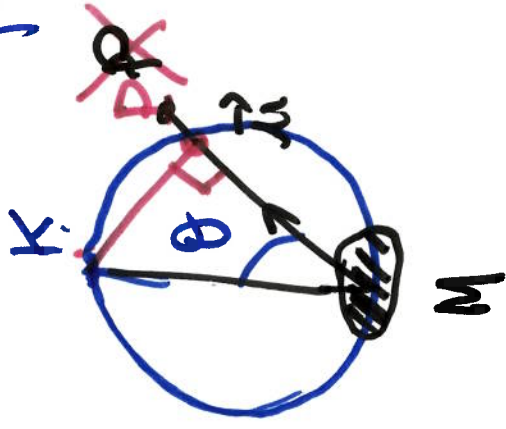
$$\frac{d^2I}{d^2\Omega} = \frac{d^4\Phi}{d^2\Omega} = L d^2S \cos\theta$$

$$I(\vec{r}) = \iint_S L(\vec{r}) d^2S \cos\theta$$

(4)

# Indicatrice d'émission

surface = lieu des points P



t.p.  $\vec{MP}$  dans direction  $\vec{u}$

$$\|\vec{MP}\| = I(\vec{u})$$

caractérise la directivité de l'émission

Cal Lambertien  $d^2 I(\vec{u}) = L(\vec{u}) d^2 S \cos \vartheta$

$$I(\vartheta) \sim \cos \vartheta \quad I(\vartheta) = I(0) \cos \vartheta$$

$$MP = MK \cos \vartheta \quad \widehat{KPM} = \pi/2$$

P décrit cercle tangent à la surface  
+ symétrie axiale autour de MK  $\Rightarrow$  sphère



⑨ II. 4 Émission énergétique  $M$  ( $W m^{-2}$ )  
 radiance émittance

$M = \frac{d^2\Phi}{d^2\Omega}$  flux par unité de surface réelle

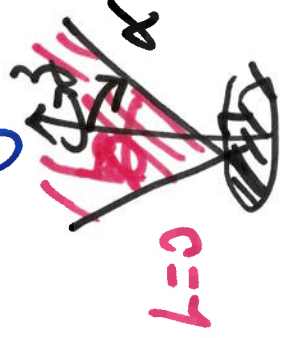


par angle solide élémentaire  $d^2\Omega$

$$d^2M(\vec{n}) = \frac{d^4\Phi}{d^2S} = L \frac{d^4\Omega}{d^2S} = L \cos\theta d^2\Omega$$

$$M = \iint_{\text{hémisphère}} L(\vec{n}) \cos\theta d^2\Omega = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} L(\theta, \varphi) \cos\theta \sin\theta d\varphi d\theta$$

Cas d'un cône de rétrodiffusion  $\perp$  surface  $\frac{1}{2}$  angle  $\alpha$   
 d'axe



$$L(\theta, \varphi) = \begin{cases} L_0 & \text{si } 0 \leq \theta \leq \alpha \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} + \text{Lambertian}$$

(10)

$$M = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\alpha} L \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\varphi$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{d^2\Omega}$

$$M = 2\pi L_0 \int_{\theta=0}^{\alpha} \cos \theta \sin \theta \, d\theta$$

$$M = 2\pi L_0 \left[ \frac{\sin^2 \theta}{2} \right]_0^{\alpha} = \pi L_0 \sin^2 \alpha = 4\pi L_0 \sin^2 \alpha/2$$

$$\Omega = 4\pi \sin^2 \alpha/2$$

$$\times \cos^2 \frac{\alpha}{2}$$

$$M \neq L_0 \Omega \quad M = L_0 \Omega \times \cos^2 \alpha/2$$

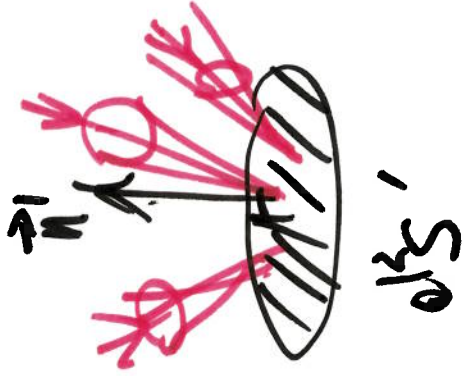
Si lam berhem

$$M = \pi L$$

# ② II. Éclaircement énergétique $E'$ ( $\text{W m}^{-2}$ )

(irradiance)

$$E' = \frac{d^2\Phi'}{d^2S'}$$



$d^2E'$  associé à  $\vec{u}$ ,  $d^2\Omega$

$$d^2E' = \frac{d^4\Phi'}{d^2S' d^2\Omega'} = L \frac{d^4U}{d^2S' d^2\Omega'} = L \cos\theta' d^2\Omega'$$

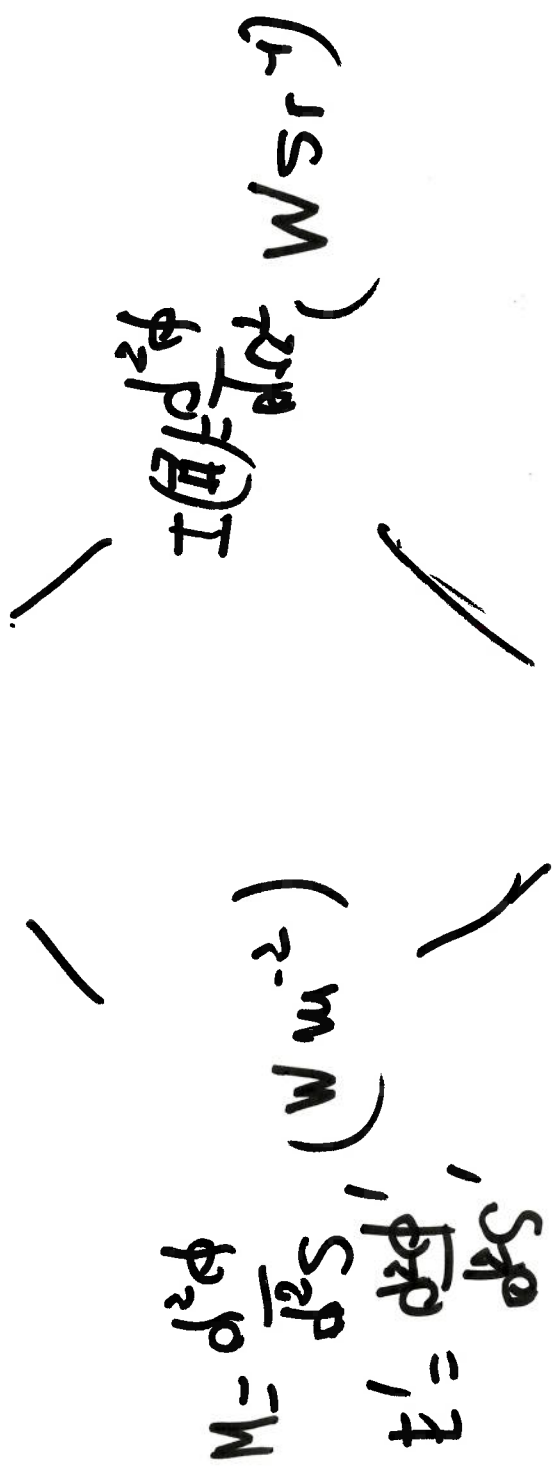
$$E' = \iint_{\text{espace}} L \cos\theta' d^2\Omega'$$

si  $L$  indpt de  $\theta'$

$$E' = \pi L$$

12

$\Phi$



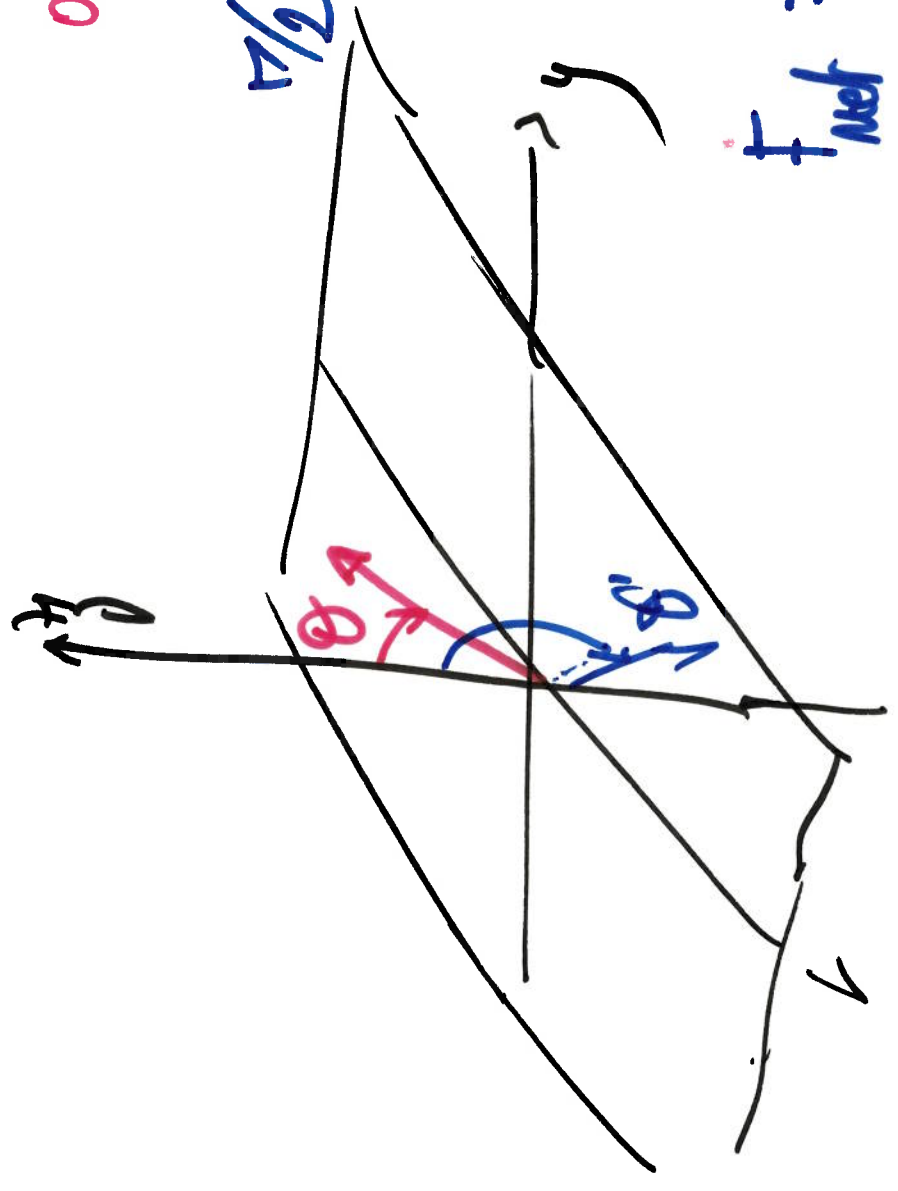
↳ a complete

(13) Flux surfaciques d'entrée à travers  
 feu 1/2 transparent

Atmosphère = homogène, horizontalement  
 bilans dans des couches

$0 \leq \theta \leq \pi/2$  flux  $\uparrow$

$\pi/2 \leq \theta \leq \pi$  flux  $\downarrow$



$F \uparrow, F \downarrow$   
 flux surfaciques

$F_{net} = F \uparrow - F \downarrow$

(14)

$$F = \iiint_{V'} d^3E' = \iiint_{V'} L \cos \theta' d^3r' = \int_{\phi=0}^{\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{r=0}^{\pi} L \cos \theta' \sin \theta' r^2 dr d\theta d\phi$$

$\theta =$  angle *relativ*

$$\mu = \cos \theta \quad d\mu = -\sin \theta d\theta$$

$$F = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\mu=-1}^{+1} L(\mu, \phi) \mu d\mu d\phi \Rightarrow \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} L(\mu, \phi) \mu d\mu d\phi$$

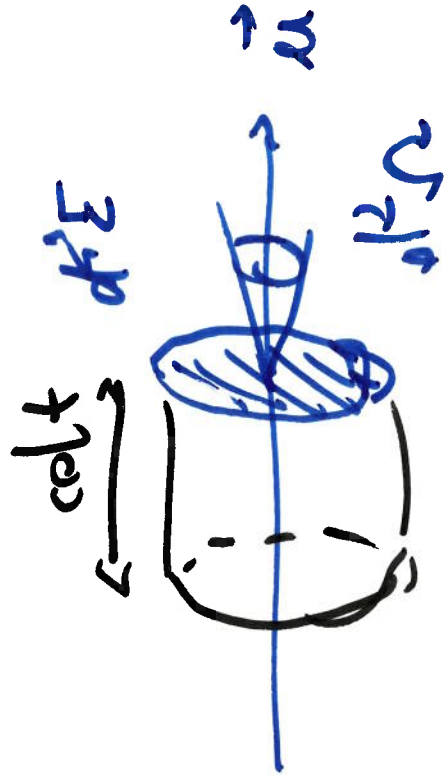
$$F = \int_0^{2\pi} \int_{\mu=0}^{+1} L(\mu, \phi) \mu d\mu d\phi$$

$$F^{\uparrow} = \int_0^{+1} L(\mu, \phi) \mu d\mu d\phi$$

$$F^{\downarrow} = \int_0^{-1} L(\mu, \phi) \mu d\mu d\phi$$

$$L \text{ in } \mu \text{ de } \phi \text{ et } \phi \quad F^{\uparrow} = F^{\downarrow} = \pi L \quad F_{\text{tot}} = 0$$

# (15) Energie volumique $e$



Energie transport  
 $d^2 \Sigma$  dans direction  
 $\vec{u}$  ou  $d^2 \Omega$  parcs  
 ptt dure  $dt$

$e =$  energie par unite de volume

$$d^5 E = \frac{d^4 e(\vec{u})}{d^2 \Omega} \times c dt \times d^2 \Sigma$$

$$d^5 E = d^4 \Phi dt = L d^4 u dt = L d^2 \Sigma d^2 \Omega dt$$

$$L = c \frac{d^2 e}{d^2 \Omega} \quad e = \int_{4\pi} \frac{L}{c} d^2 \Omega \quad \text{si isotrope} \quad e = \frac{4\pi L}{c}$$

# ① Flux sphérique (achronique)

no le'entle



sphère quasi-perfecte

interagit inélaste  
de la direction  
du ray

$$q = \text{flux sphérique} = \text{flux surfacique}$$
$$= \lim_{r \rightarrow 0} \left( \frac{\Phi}{\Sigma r} \right)$$

$$q = \iint_{4\pi} d^2\Omega' = c e$$

si isotrope

$$q = e c = 4\pi L$$