

Importance des étoiles

- Rôle essentiel dans la synthèse des **éléments lourds** ($> H, H_e$):
 - **nucléosynthèse stellaire** (\neq nucléosynthèse primordiale)
- Matière « visible » de l'Univers
- Supernovae: balises cosmologiques.
- Reconstitution de la **vie stellaire** à partir des populations observées

L'évolution stellaire

Essayer d'expliquer:

- **Naissance** (proto-étoiles)
- **Vie** (source d'énergie)
- **Mort** (naine blanche, supernova, trou noir)

Moyens:

- **Observations** (classification stellaire)
- **Physique** (thermodynamique, mécanique, physique quantique, relativité...)

Observations

- Spectroscopie:
 - ✓ composition
 - ✓ température
 - ✓ champ magnétique
 - ✓ étoiles doubles
 - ✓ environnement
- Photométrie:
 - ✓ luminosité
 - ✓ variations
- Astrométrie:
 - ✓ distance
 - ✓ mouvement
 - ✓ étoiles doubles(masses)

Echelle de mesure: Magnitudes

Mesure: flux reçu, ou éclairement E (W m^{-2} , photons $\text{m}^{-2}.\text{sec}^{-1}$)

Problème: énorme dynamique - par ex. facteur 10^{12} entre éclat de Vénus et les galaxies les plus lointaines!

Solution: utilisation d'une échelle **logarithmique**, d'ailleurs liée à un effet physiologique

Antiquité: classement des étoiles de 1ère, 2ème, ... 5ème grandeur par ordre *logarithmique* d'éclat.

Définition de la magnitude (apparente)

$$m = -2.5 \log_{10} (E) + b$$

Complètement arbitraire !!!

- **2.5**: assure que $\Delta m = 5$ quand E varie d'un facteur 100
- **Signe -** : assure que m augmente quand E diminue
- **b** : ajusté de manière à ce que $M(\text{Véga}) = 0$

Donc:

$$m = -2.5 \log_{10} (E/E_{\text{Véga}})$$

$$\begin{cases} m = -2.5 \log_{10}(E/E_{Véga}) \\ m' = -2.5 \log_{10}(E'/E_{Véga}) \end{cases}$$

Soustraction membre à membre:

$$m' - m = -2.5 \log_{10}(E'/E)$$

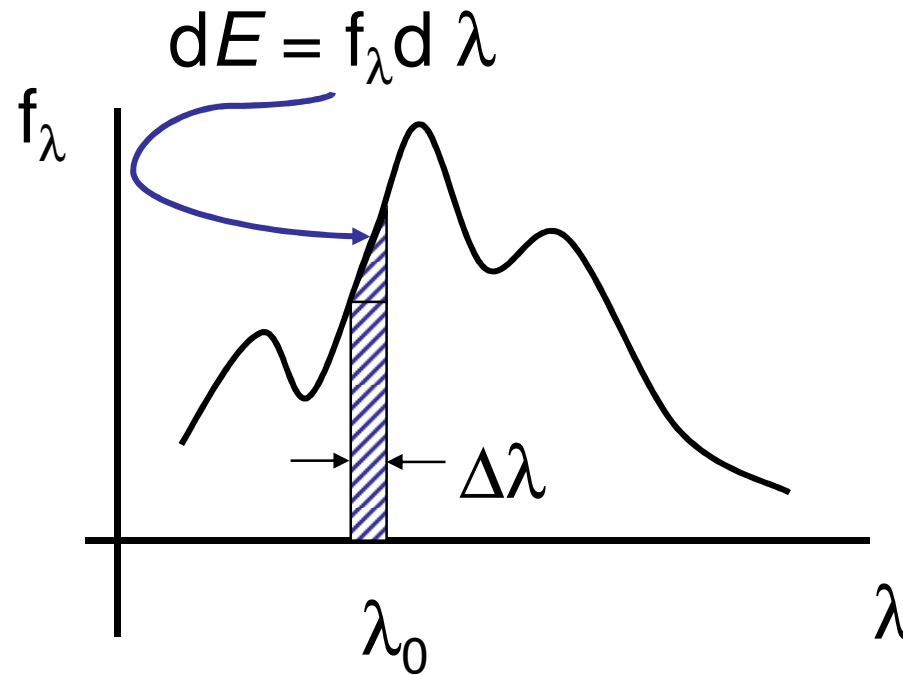
qu'on peut inverser:

$$\frac{E'}{E} = 10^{-0.4(m'-m)}$$

Quelques chiffres

- Etoiles les plus brillantes= $m \sim 0$
- Etoiles plus faibles visibles à l'œil nu: $m \sim 6$
- Galaxies les plus faibles détectables au télescope: $m \sim 30$
- Vénus: $m \sim -4$
- Pleine Lune: $m \sim -12$
- Soleil: $m \sim -27$

En fait, E est mesuré dans des bandes spectrales *bien définies*:



alors:

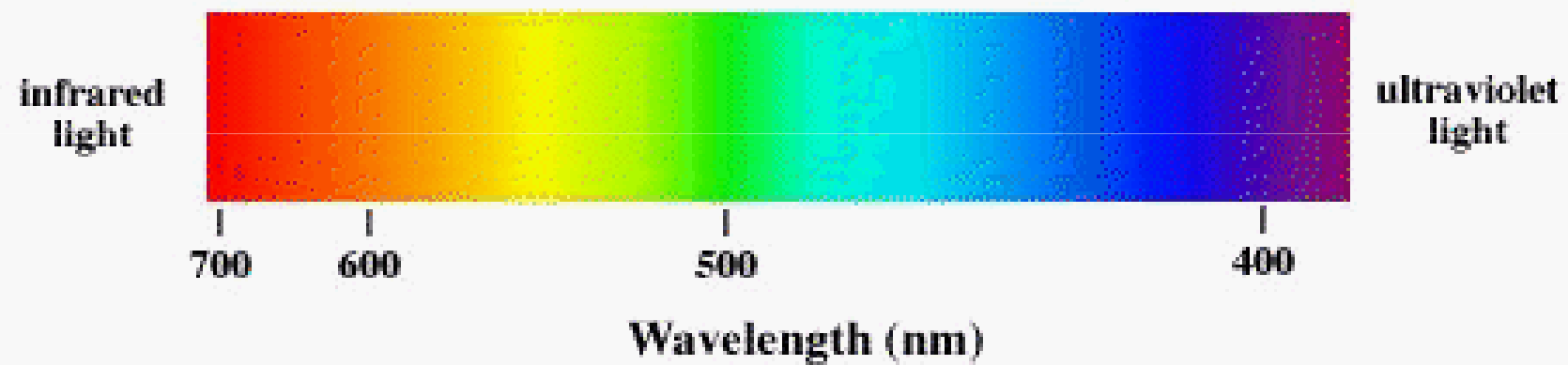
$$m_\lambda = -2.5 \log_{10} (f_\lambda / f_{\lambda_0})$$

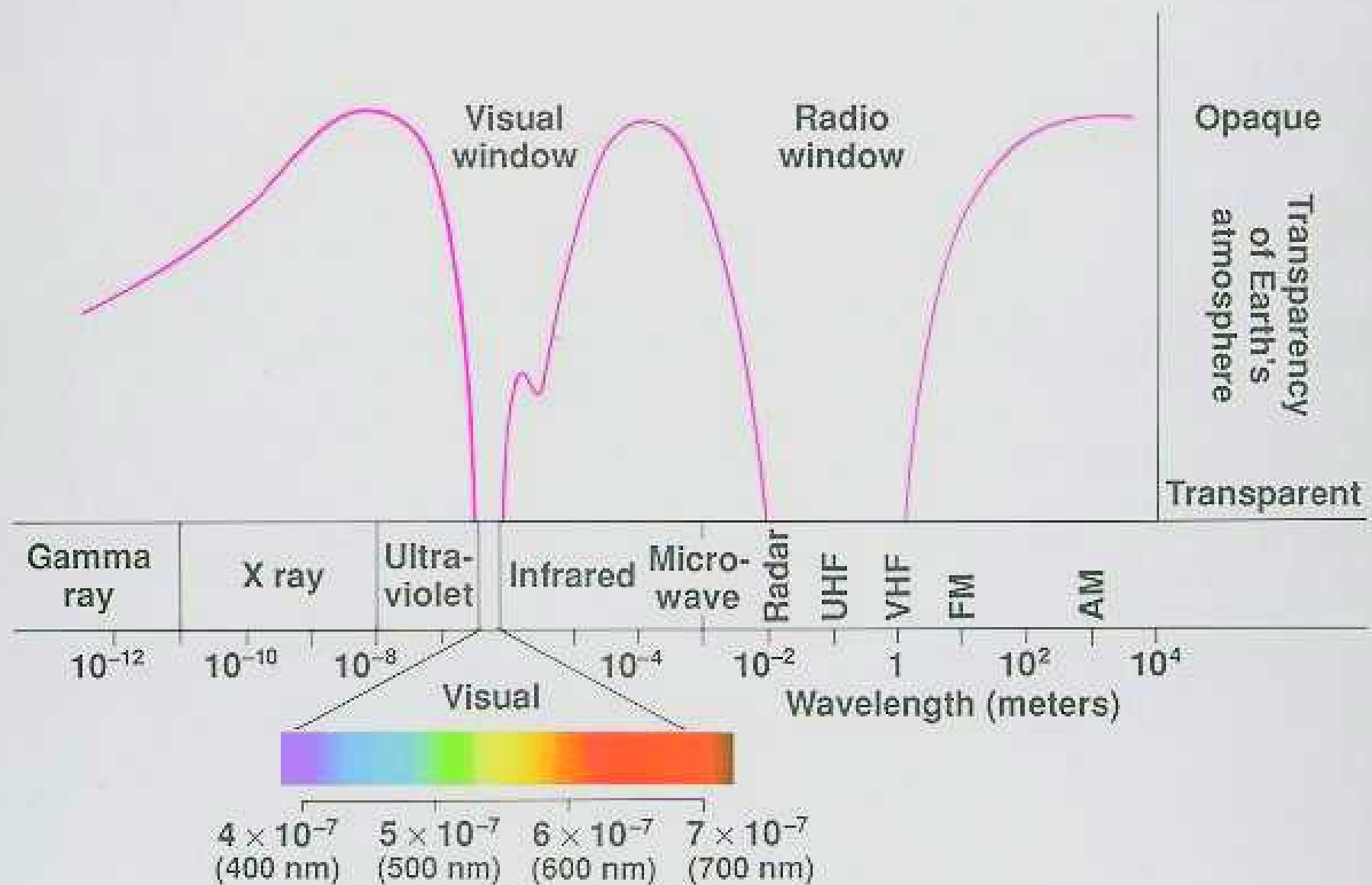
où on choisit arbitrairement f_{λ_0} de manière que m_λ (Véga) = 0

Systeme de magnitude

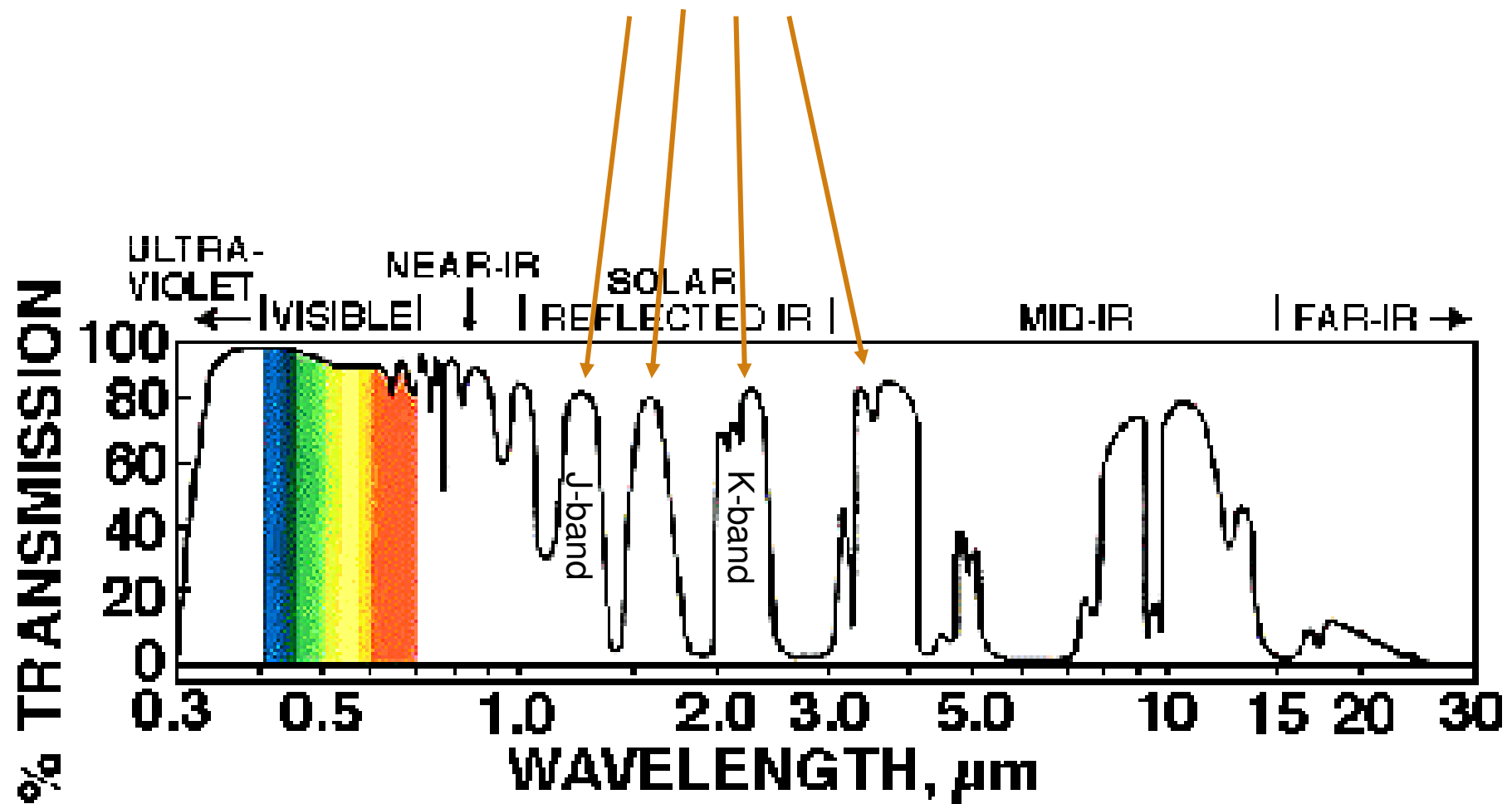
Bande (couleur)		λ (μm)	$\Delta\lambda$ (μm)	$f_{\lambda 0}$ ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)	
visible	{	U	0.36	0.068	4.35×10^{-8}
		B	0.44	0.098	7.20×10^{-8}
		V	0.55	0.089	3.92×10^{-8}
		R	0.70	0.22	1.76×10^{-8}
infra rouge	{	I	0.90		8.3×10^{-9}
		J	1.25		3.4×10^{-9}
		K	2.2		3.9×10^{-9}
	...				

The Visible Spectrum





Dans l'IR: système lié aux *fenêtres atmosphériques*
(entre les absorptions H₂O, CO₂)



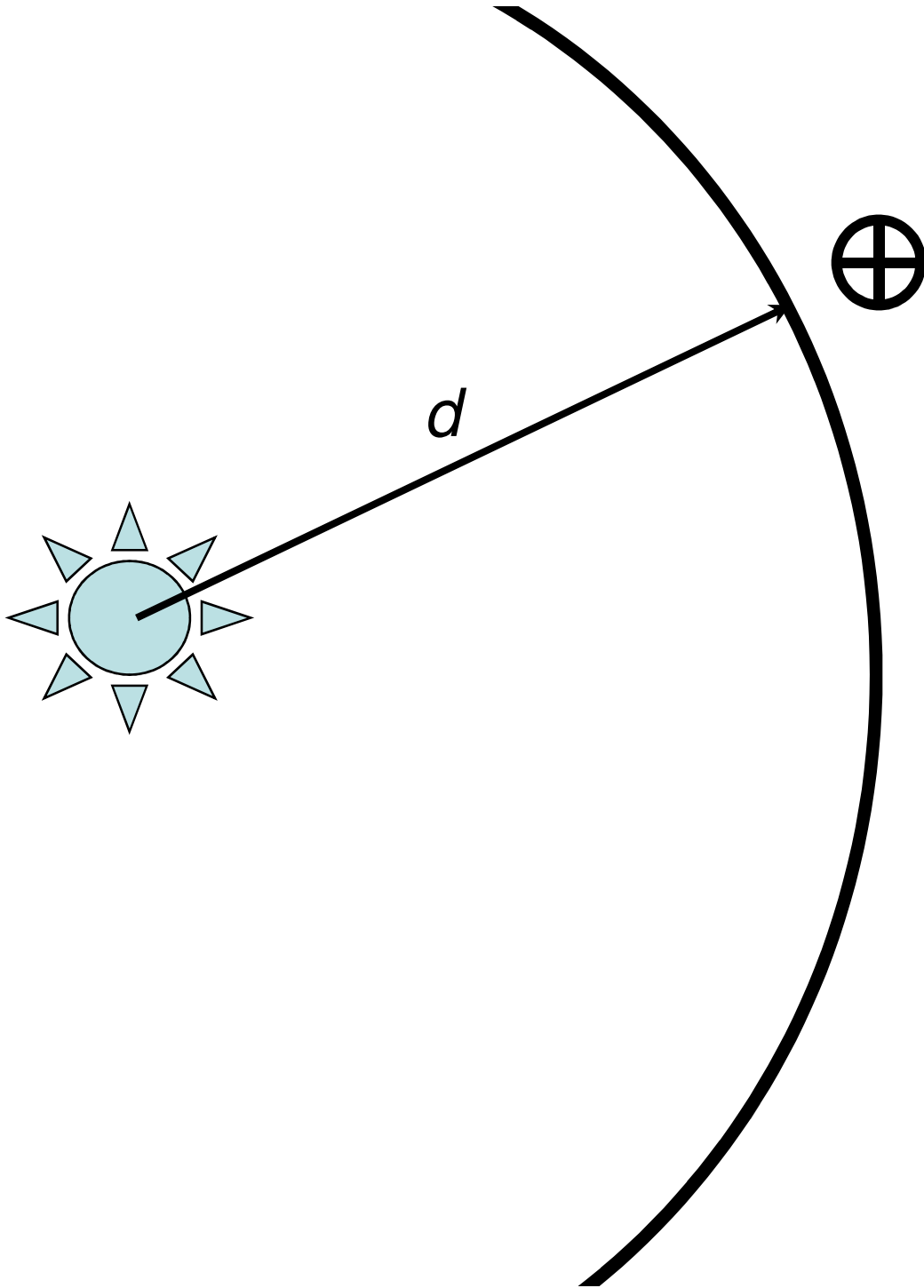
Magnitude *apparente*
Magnitude *absolue*

Problème: le flux mesuré au niveau de la Terre dépend de la distance d de l'astre

On définit la *luminosité* L d'un astre:

Luminosité $L =$ puissance (W)

rayonnée dans *tout* le spectre et dans *tout* l'espace



$$E = L/4\pi d^2$$

Si on considère deux étoile identiques (même L) à deux distances différentes d et d' :

$$m(d) = -2.5 \log_{10} \left(\frac{E}{E_0} \right) \quad \text{et} \quad m(d') = -2.5 \log_{10} \left(\frac{E'}{E_0} \right)$$

Or $E = L/4\pi d^2$ et $E' = L/4\pi d'^2$ donc: $\frac{E'}{E} = \left(\frac{d}{d'} \right)^2$

$$m(d') = m(d) + 5 \log_{10} \left(\frac{d'}{d} \right)$$

- magnitude *apparente*: magnitude m observée à la distance réelle de l'astre
- magnitude *absolue*: magnitude M qu'on observerait si l'astre était à 10 parsecs

$$M = m + 5 \log_{10} \left(\frac{10}{d_{pc}} \right)$$

- Magnitude **bolométrique apparente**:
on mesure (si possible...) ou on déduit par des arguments physiques le flux reçu sur tout le spectre:

$$E = \int_0^{\infty} f_{\lambda} d\lambda$$

$$m_{\text{bol}} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{E}{E_0} \right)$$

- Magnitude ***bolométrique absolue***:
une fois que L est connue, on pose:

$$M_{\text{bol}} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right) + 4.75$$

où L_{\odot} est la luminosité du Soleil
(donc M_{bol} du Soleil $\equiv 4.75$)