I) Le ciel et l'univers

(Hervé Cottin) – 1h30

A- L'atmosphère de la Terre
B- Le « bestiaire » de l'univers :
Etoiles, planètes, constellations, galaxies / Les échelles (UA/al/pc)

II) L'exploration du Système Solaire

(Hervé Cottin) – 4h30

A- La formation du Système Solaire
B- Les planètes telluriques
C- Les planètes géantes (gazeuses et glacées)
D- Les satellites des planètes géantes
E- Les petits corps / Les impacts

III) Lumière et observations

(Antoine Jolly) – 4h30

A- Le ciel à différentes longueur d'onde - télescope spatiaux et terrestres
B- Corps noir et spectres de raies – classification des étoiles
C- Flux, magnitude et luminosité des étoiles- diagramme de Hertzsprung-Russel

IV)Vie et mort des étoiles

(Antoine Jolly) - 4h30

V) Origine de la vie sur la Terre / La vie ailleurs que sur la Terre ?

(Hervé Cottin) – 3h

A^3 PLAN

Cours : 18 h / TD : 9 h / TP : 1h30

La luminosité des étoiles

La magnitude apparente :

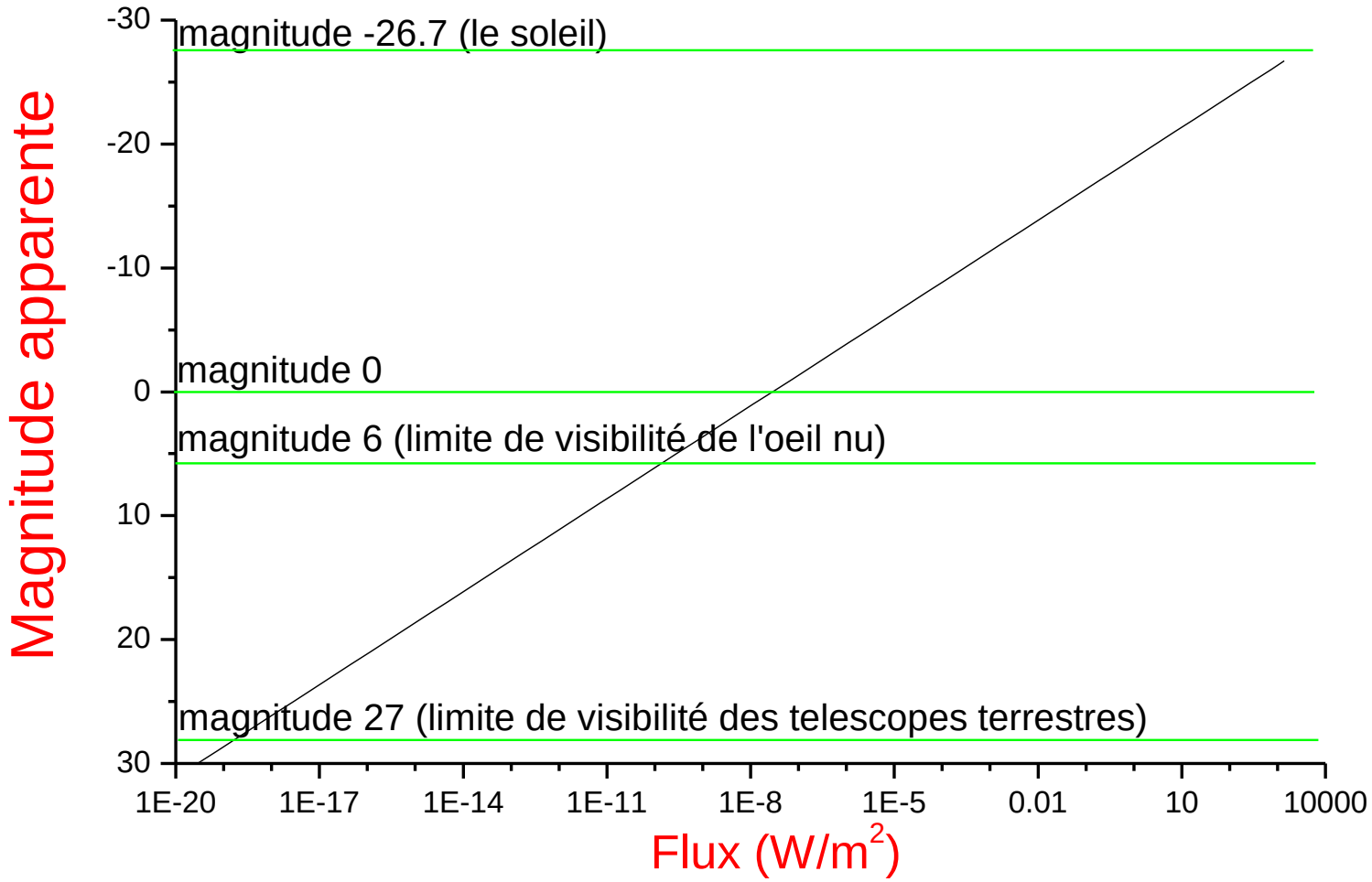
L'étoile centrale a une magnitude de 4,5,
la seconde étoile a une magnitude de 7,2
et les étoiles du fond de ciel une magnitude comprise entre 15 et 18.

Plus un objet est brillant plus sa magnitude apparente est petite

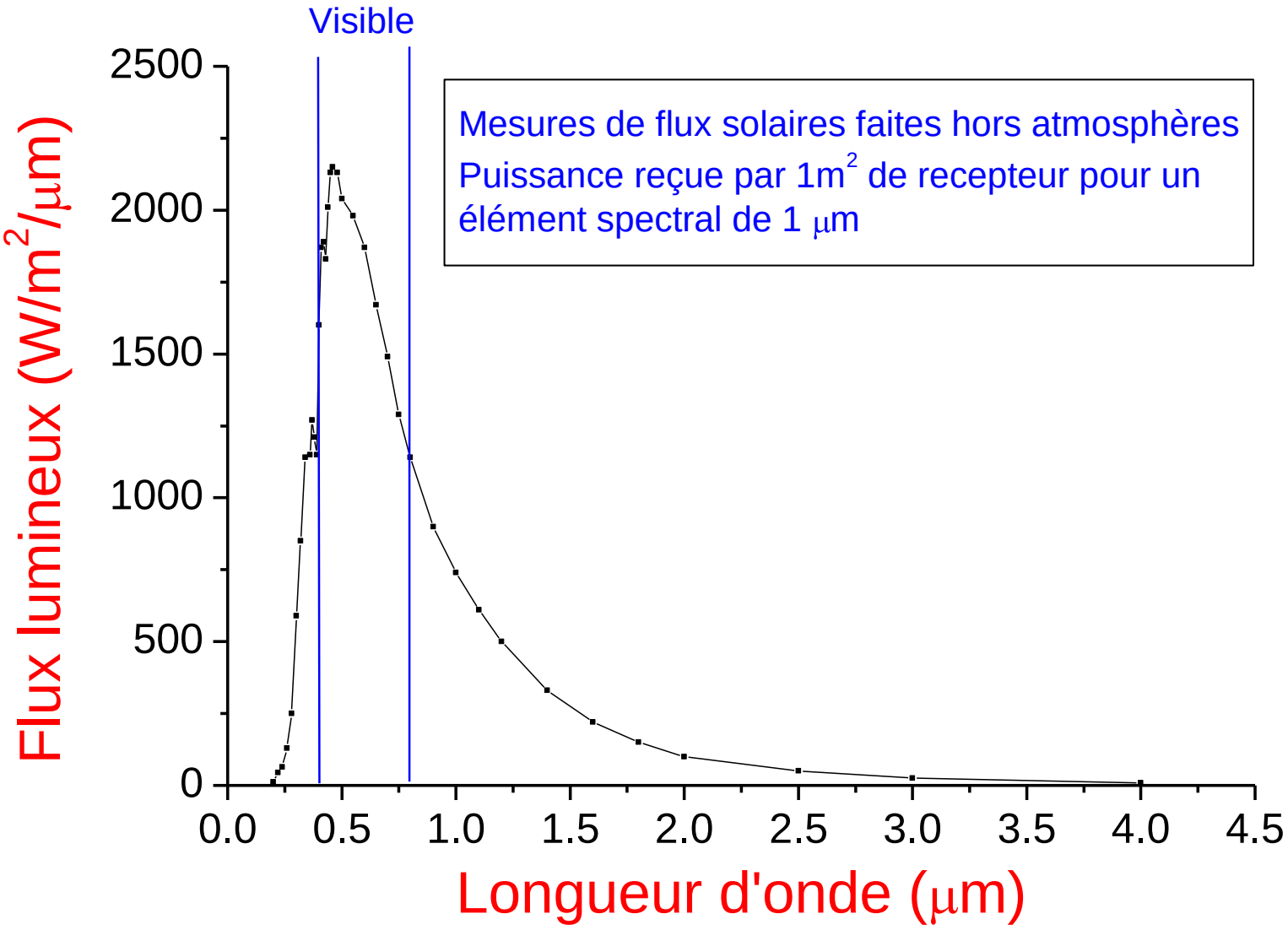
Objet	Magnitude apparente
Soleil	-26,7
Lune	-12,7
Vénus	-4,4
Sirius	-1,4
Véga	0
Antarès	1
Etoile polaire	2
Limite de perception à l'œil nu	6
Limite de perception aux jumelles	10
Limite de perception au sol	27
Limite de perception du télescope spatial Hubble	30

Le lien entre le flux et la magnitude apparente est donnée par :

$m = -2{,}5\log(F/F_0)$ ou F_0 correspond au flux d'une étoile avec m = 0 $F_0 = 2{,}87.10^{-8}\ W/m^2$



Le flux lumineux du soleil



La luminosité du soleil

Le flux du soleil intégré sur toutes les longueurs d'onde :

$F_{sol} = 1365\ W/m^2$

Le flux **F** dépend de la distance **d** de l'étoile.
La luminosité **L** elle est une grandeur intrinsèque à l'étoile, équivalent d'une puissance.

$$\mathbf{F = L/(4\pi d^2)}$$
$$\mathbf{L = 4\pi d^2 F}$$
$$\mathbf{d = 150\ 000\ 000\ km}$$
$$\mathbf{L = 3.85\ 10^{26}\ W}$$

Quelle est l'énergie produite par une centrale nucléaire ?

Réponse : Entre 40 et 1450 MW (370 GW sur toute la Terre)

Pour produire autant que le soleil, de combien devrait augmenter la production humaine?

Réponse : 1.10^{15}

Le flux des étoiles :

** Peut on calculer le flux d'une étoile X de type solaire (même luminosité que le soleil) située à 4 années lumière de la terre ?*

1 année lumière = 300000 km/s*60*60*24*365.25 = 9.46 10^{12} km
F(X)=F(sol)*[150000000/ (4*9.46 10^{12})]^2 = 2. 10^{-8} W/m^2

** Combien de photons recevons nous du soleil ? Et de l'étoile X ?*

L'énergie d'un photon : E = hν
ν= c/λ et λ=0.5 μm (photons jaune Soleil)
E = hc/λ=6,62.10^{-34}*3.10^8/0,5.10^{-6} = 4.10^{-19} Joules

Le flux solaire = 1365 W/m^2 ou J/s/m^2
ou 1365/4.10^{-19} = 3,4.10^{21} photons/s/m^2
Le flux de l'étoile X = 2. 10^{-8} W/m2 ou J/s/m2
ou 2. 10^{-8} /4.10-19 = 5.10^{10} photons/s/m2

Combien de photons peut on voir à l'œil nu ?

La pupille de l'œil fait 6 mm de diamètre,
Surface de la pupille : $\Pi d^2/4 = 2{,}8.10^{-5}$ m^2 ou 28 mm^2
Photons/Oeil : $5.10^{10}*2{,}8.10^{-5} = 1{,}4.10^6$ photons/s

Et pour une étoile de magnitude 6 (limite de l'oeil nu) ?

m=6, le flux $F=F_0 10^{-m/2.5} = 2{,}87.10^{-8}*10^{-6/2.5}=1{,}14.10^{-10}$ W/m^2
Photons/Œil : $1{,}14.10^{-10}/2.10^{-8}*1{,}4.10^6$= 8000 photons/s

Et avec un télescope de 10 m de diamètre?

Surface du Telescope : $\Pi d^2/4 = 78{,}5$ m^2
Nombre de photons capté = $2{,}2.10^{10}$ photons/s

Et pour une étoile de magnitude 27 ?

$F = 4{,}5.10^{-19}$ W/m^2 = 1 photons/s/m^2 donc 78 photons/s pour un T-10m

Comment faire mieux : Diamètre, temps d'enregistrement, sensibilité

La luminosité d'une étoile :

La luminosité intrinsèque ou puissance d'une étoile dépend de sa température et de sa taille :

Stefan-Boltzman $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ avec la constante de Stefan $\sigma = 5.669.10\text{-}8\ W.m^{-2}.K^{-4}$

Quel est le rapport de luminosité entre une étoile de température 12000 K et une autre de 2000 K ?

$L_A/L_B = (T_A/T_B)^4$, $T_A = 6T_B \rightarrow L_A = 1296 L_B$

Un étoile plus lumineuse que le Soleil peut elle être plus froide que le Soleil ?

Une étoile 2 fois plus froide devra être au moins 4 fois plus grosse !

La magnitude absolue :

La magnitude absolue M est aussi une propriété intrinsèque de l'étoile liée à la luminosité :

$$M = m - 5\log(d) + 5$$

Ou m est la magnitude apparente et d la distance de l'étoile en parsecs

1parsecs = $3.09\ 10^{16}$ m =3.26 années lumière

Quelle est la magnitude absolue du soleil ?

$$d_{sol} = 150\ 10^{9}/3.09\ 10^{16} = 4.8510^{-6}\ parsecs$$

$$M_{sol} = -26.7-5log(4.85\ 10^{-6}) +5= 4.8$$

Et la magnitude de Sirius?

Comment se situe le soleil ?

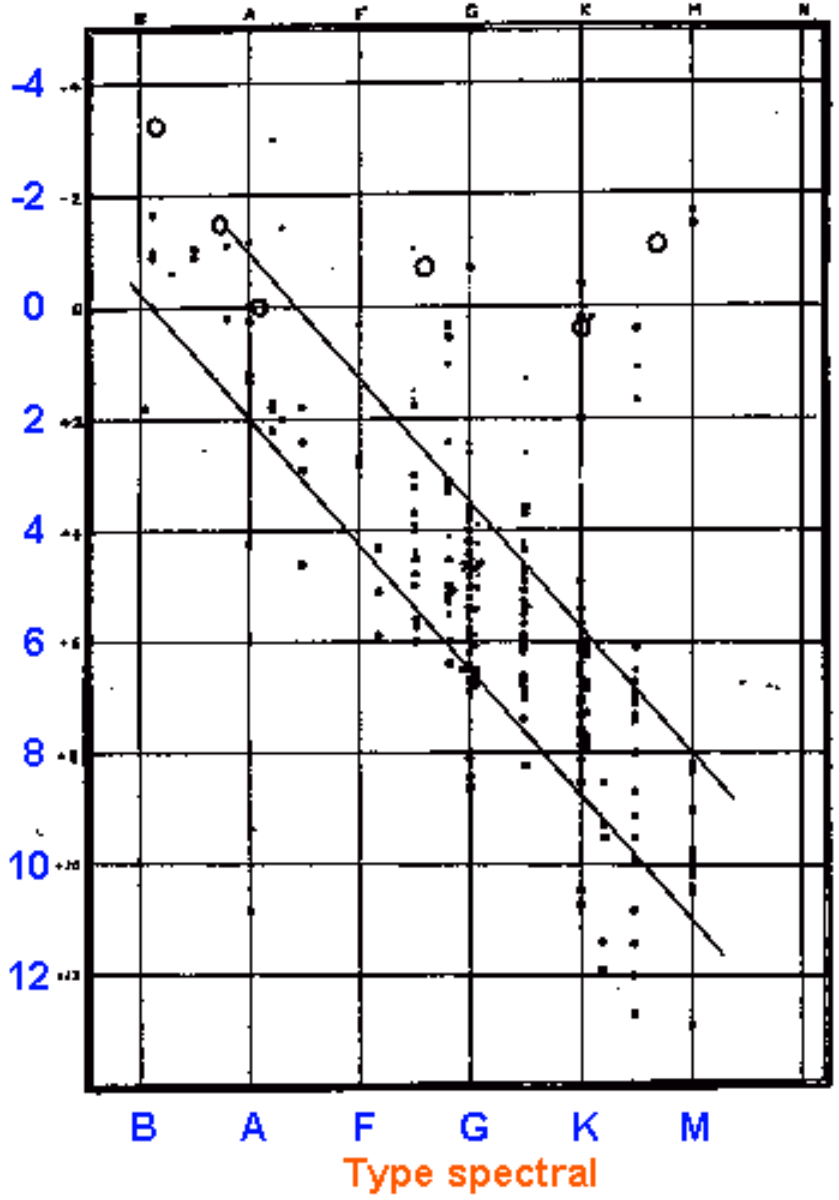
La Magnitude absolue d'une étoile varie entre -6 et 16

Sirius (m=-1,46 d= 2,64 parsecs => M = 1,5

Le diagramme de Hertzsprung-Russel :

En 1911, l'ingénieur et astronome danois **Ejnar Hertzprung** (1873-1967) traçait un diagramme magnitude en fonction du type spectrale d'un échantillon d'étoiles.
Plus tard, l'astronome américain **Henry Russel** (1877-1957) construisit indépendamment le même diagramme avec un autre échantillon d'étoile.
Ce diagramme s'appelle aujourd'hui le diagramme HR et met en évidence la relation entre le type spectrale et la magnitude absolue

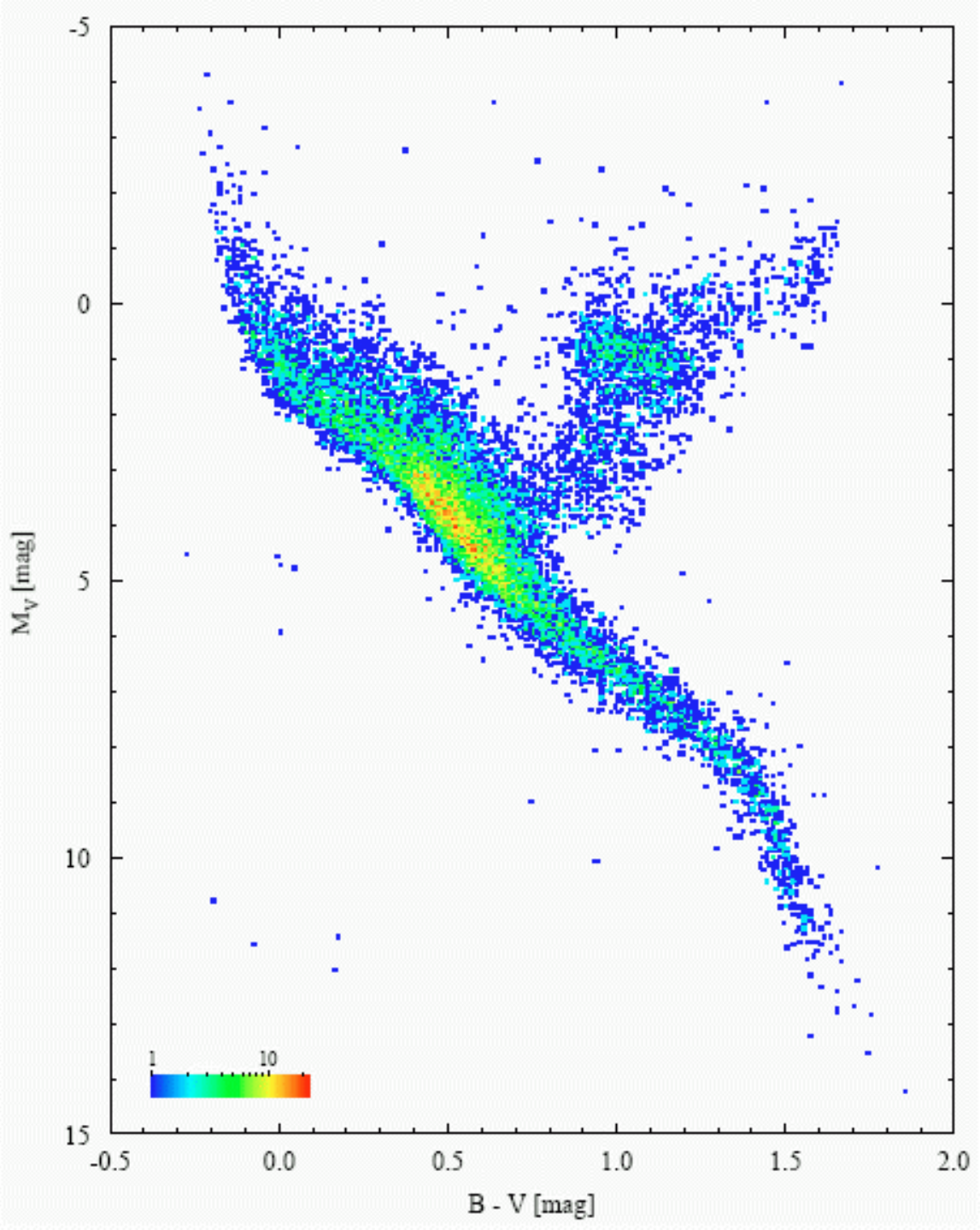
M



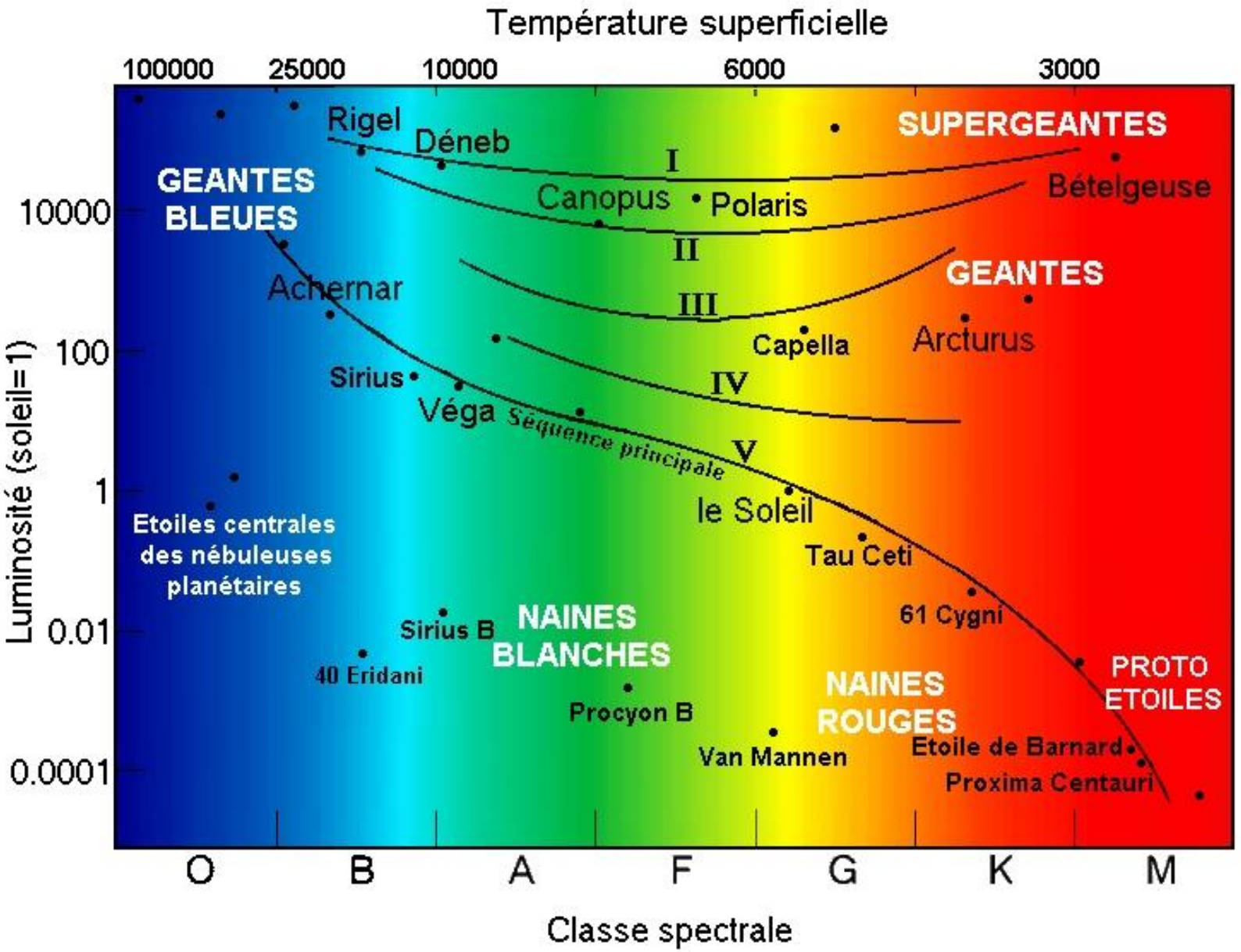
Type spectral Soleil : G
Sirius : A

Le diagramme de HR :

Observation du satellite Hipparcos



Les familles d'étoiles : Séquence principale (90 % des étoiles)



Le diagramme HR et le rayon des étoiles

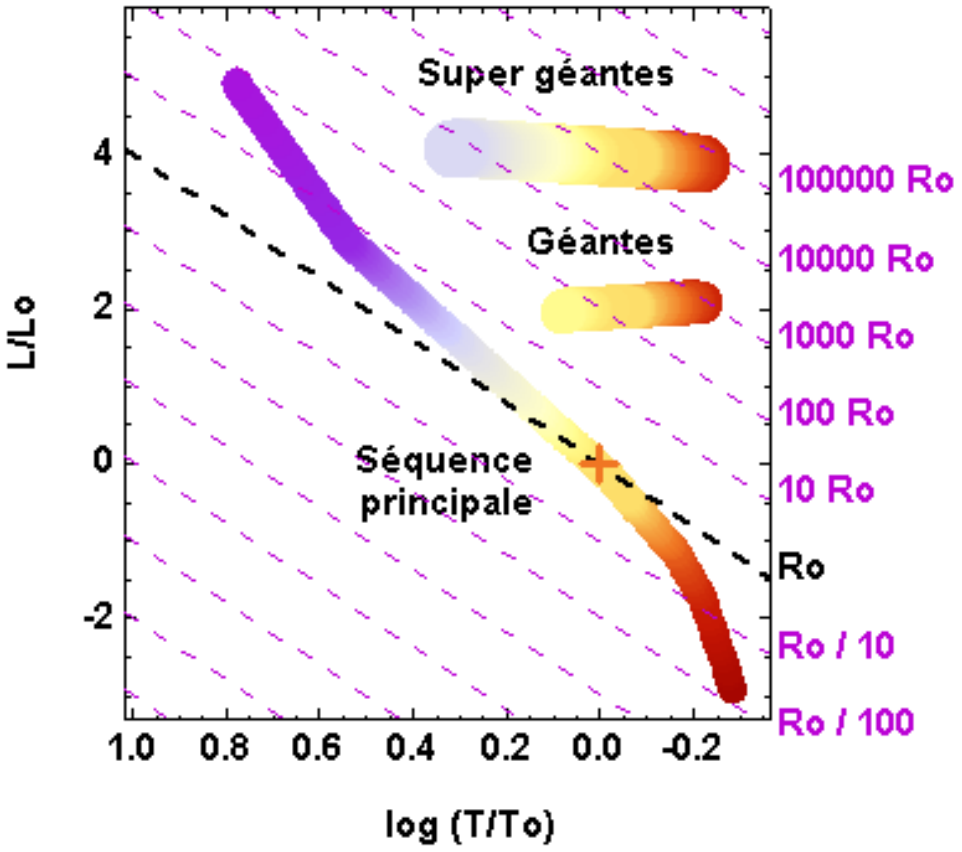
Le rayon du soleil vaut 7 10^8 m

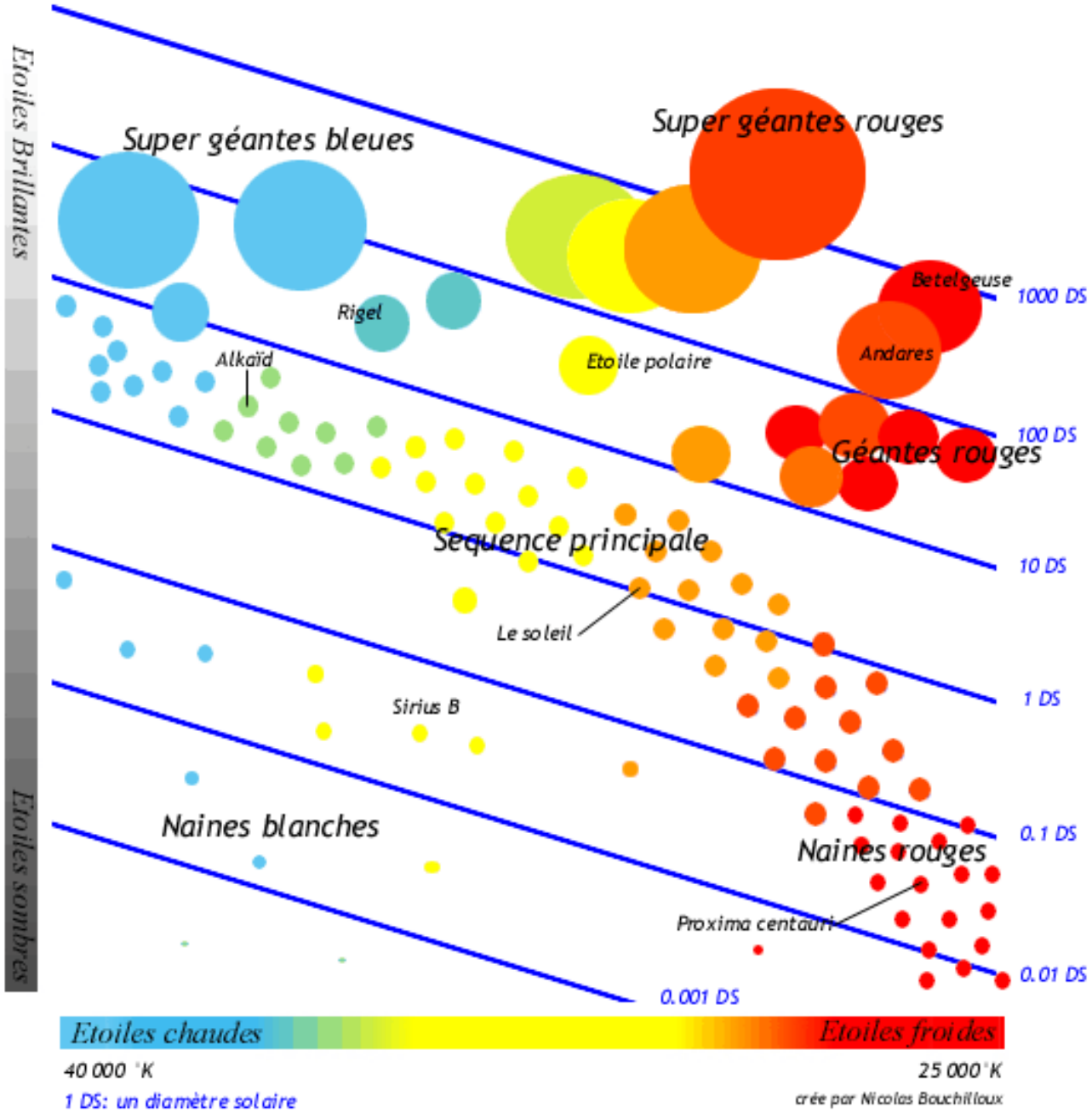
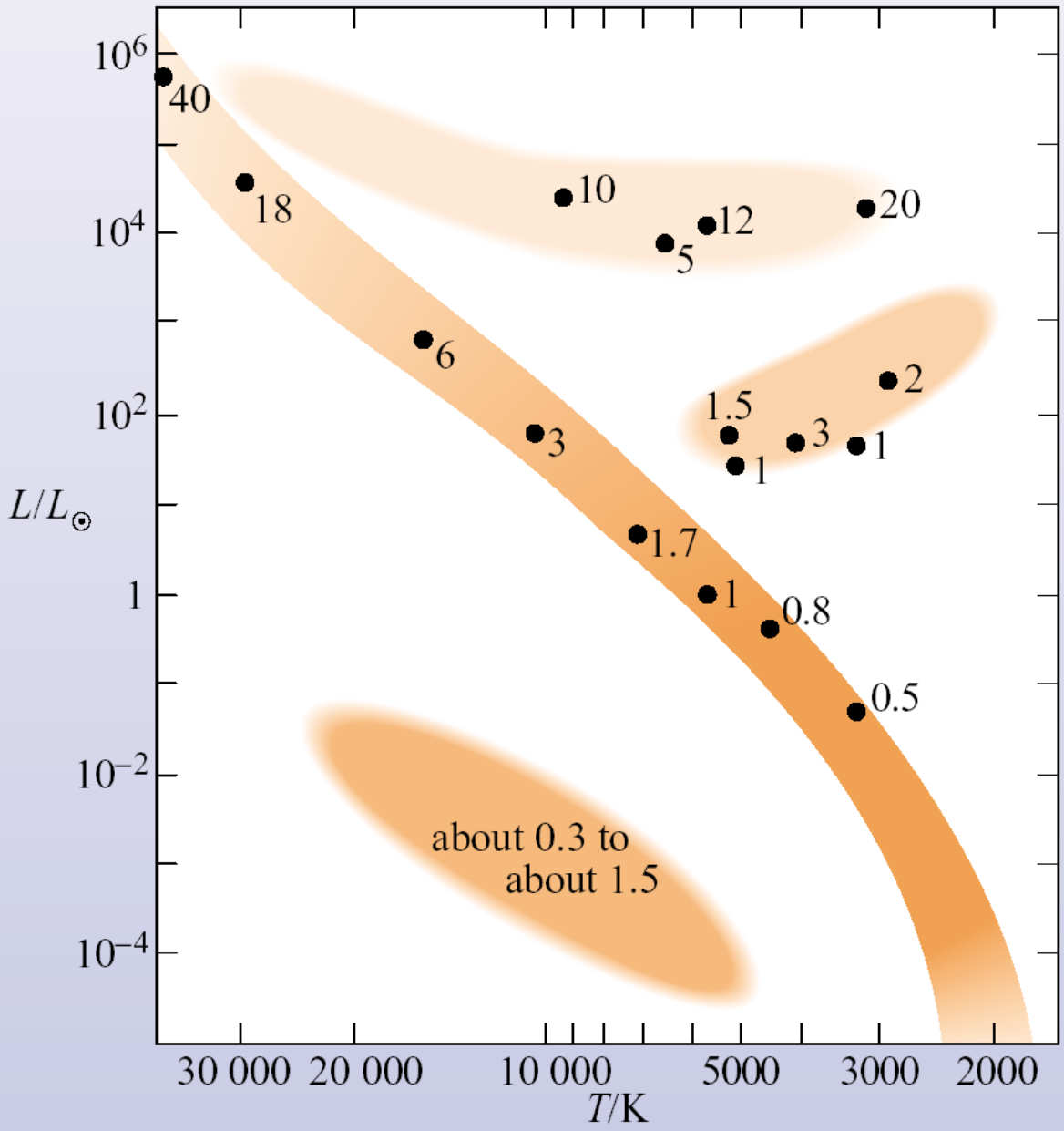
Quelle est le rayon d'une naine blanche? Comparer à la terre ?

$R_{(Naine\ Blanche)} = 0.01\ R_{Sol} = 7\ 10^6$ m = 7000 km, R_{Terre} = 6400 km

Quelle est le rayon d'une géante? Comparer à la distance Terre-Soleil?

$R_{(Géantes)} = 1000\ R_{Sol} = 7\ 10^{11}$ m = 700 Mkm, $d_{Terre\text{-}sol}$ = 150 Mkm




Etoiles Brillantes
Etoiles sombres
Super géantes bleues
Super géantes rouges
Betelgeuse
Rigel
Alkaïd
Etoile polaire
Andares
Géantes rouges
Sequence principale
Le soleil
Sirius B
Naines blanches
Naines rouges
Proxima centauri
1000 DS
100 DS
10 DS
1 DS
0.1 DS
0.01 DS
0.001 DS
Etoiles chaudes
Etoiles froides
40 000 °K
25 000 °K
1 DS: un diamètre solaire
crée par Nicolas Bouchilloux

Le diagramme HR et la masse des étoiles