

UN THERMOMETRE POUR ÉTOILE



MESURE DE LA TEMPERATURE
D'UNE ÉTOILE
À L'AIDE D'UN TÉLESCOPE D'AMATEUR

Pierre de Ponthière

www.dppobservatory.net

2015/09/01

COULEUR ET TEMPERATURE D'UNE ETOILE

Challenge

Mesurer la variation de température
d'une étoile RR Lyrae au cours d'une nuit.

XZ Lac la nuit du 2014-11-16

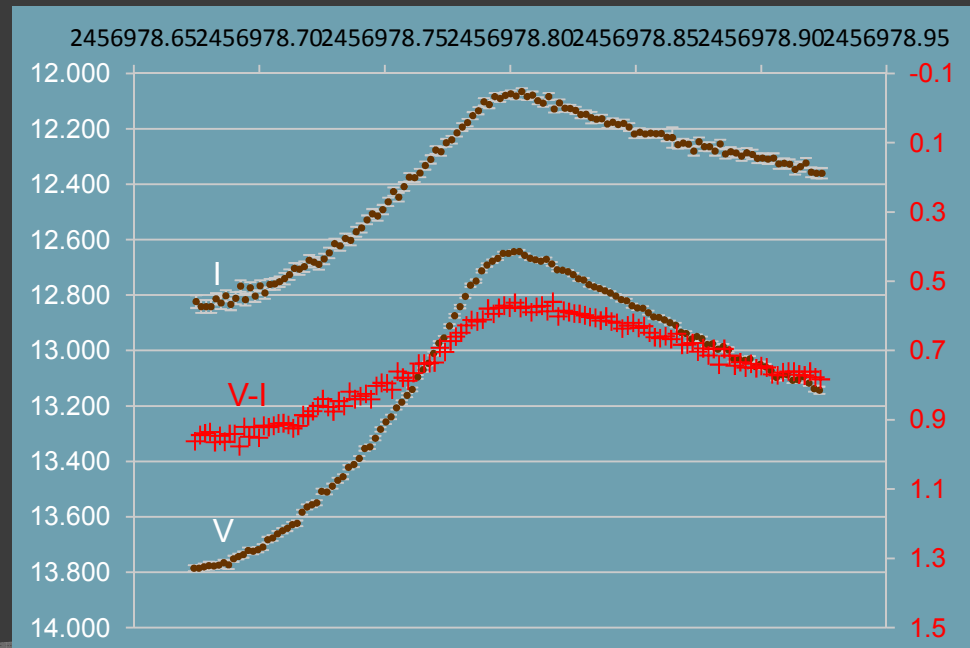
$$T_{\min} = 4908 \text{ K}$$

$$T_{\max} = 6146 \text{ K}$$

$$\Delta T = 1238 \text{ K}$$

$$\Delta t = 3 \text{ h } 7 \text{ min}$$

Télescope
Caméra CCD
2 filtres (V et I)



Structure

Diagramme HR – Indice de couleur

Loi de Planck

Magnitude dans différents filtres

Mesures d'une étoile RR Lyrae

Courbes de lumière

Indice de couleur (V-I)

Variation de la température

Diagramme H-R :

Hertzprung-Russell

Diagramme H-R

- Luminosité
fonction de
Température
ou de la
Classe spectrale

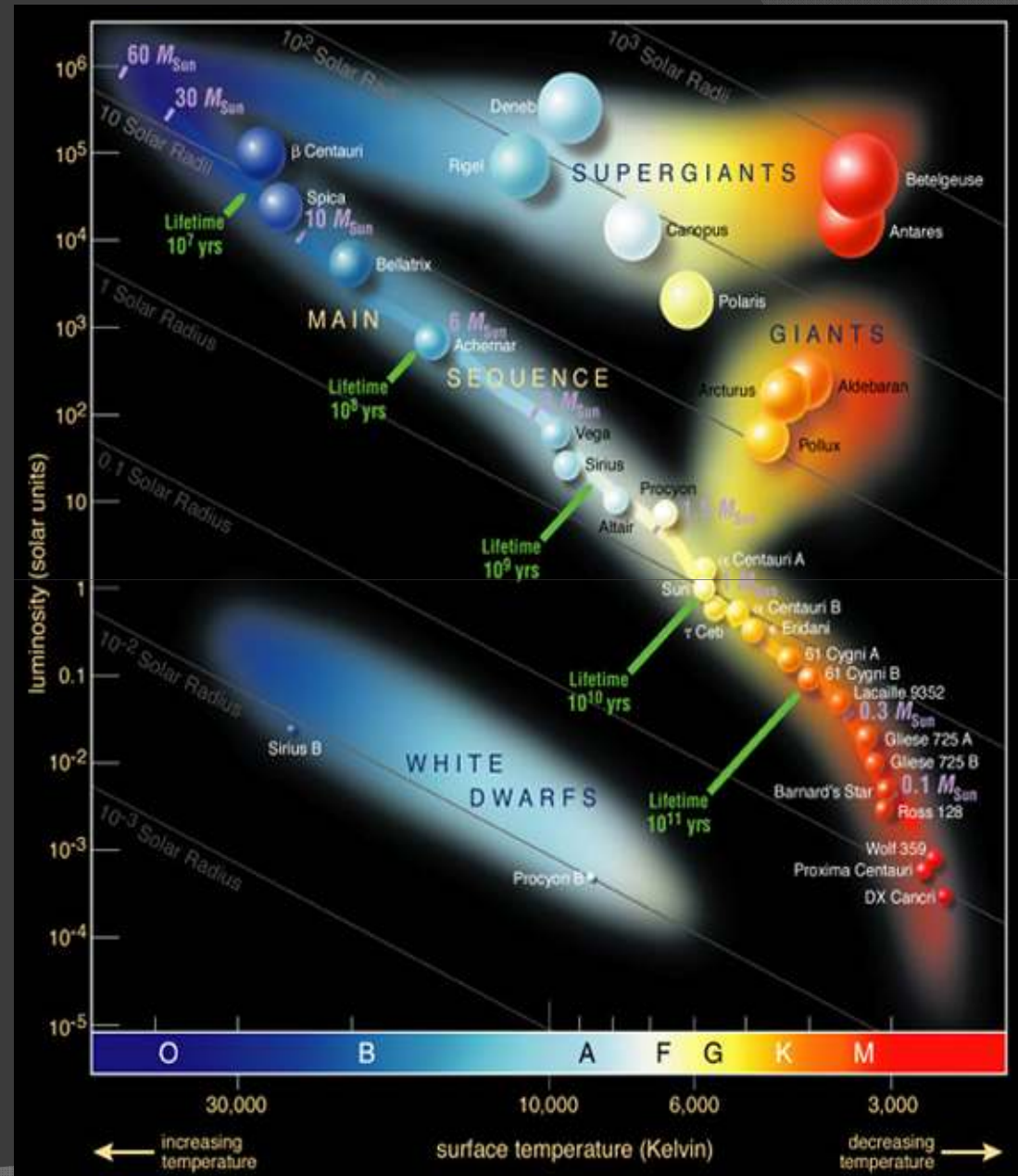


Diagramme H-R

- Luminosité
fonction de
 - Indice de couleur
- B - V**
- B et V magnitudes
dans filtres B et V
 - Indice de couleur lié à
la température

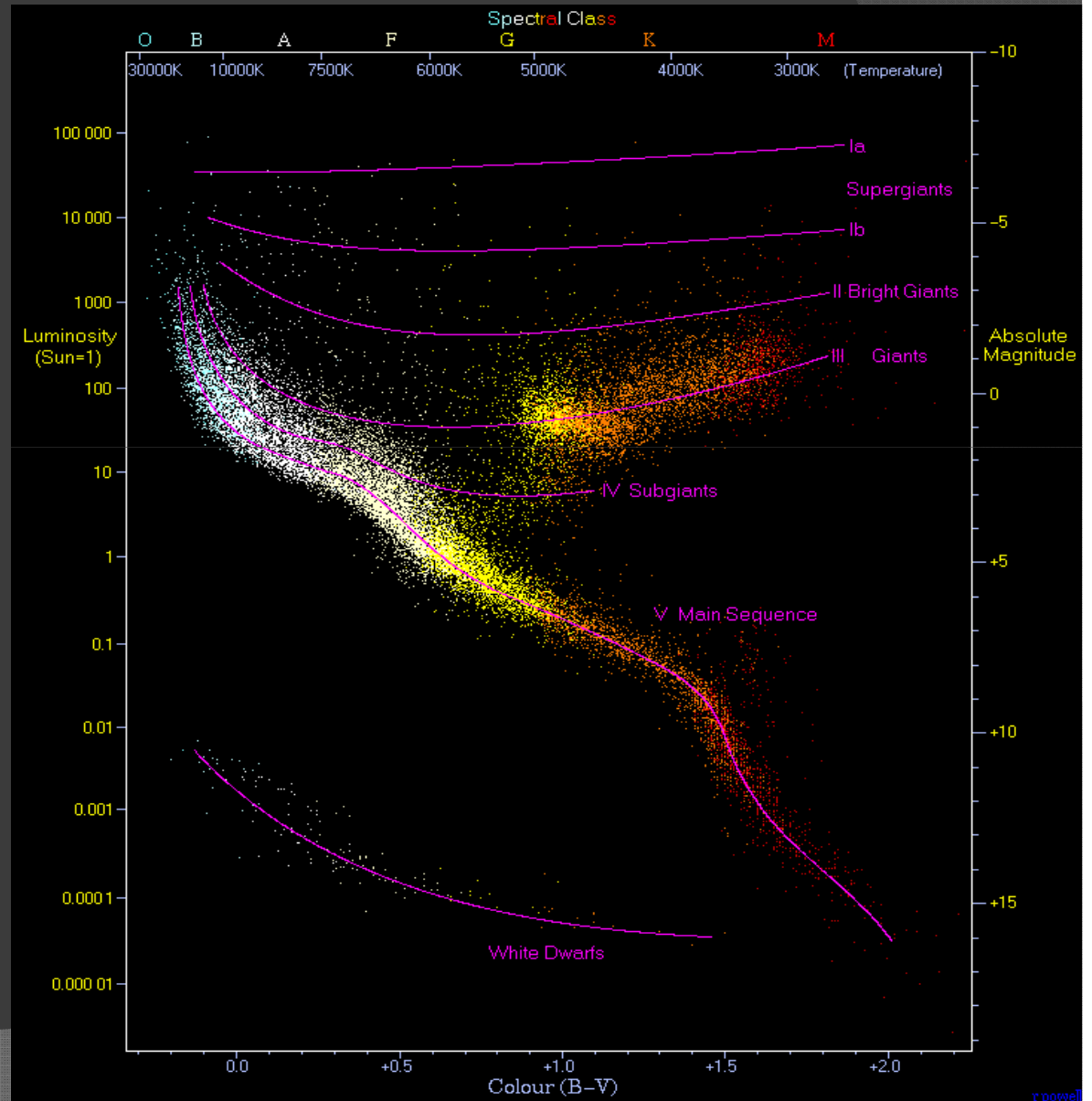


Diagramme H-R

- Magnitude absolue
fonction de
 - Indice de couleur
- V – I**
- V et I magnitudes dans
filtres V et I
 - Indice de couleur lié à la
température

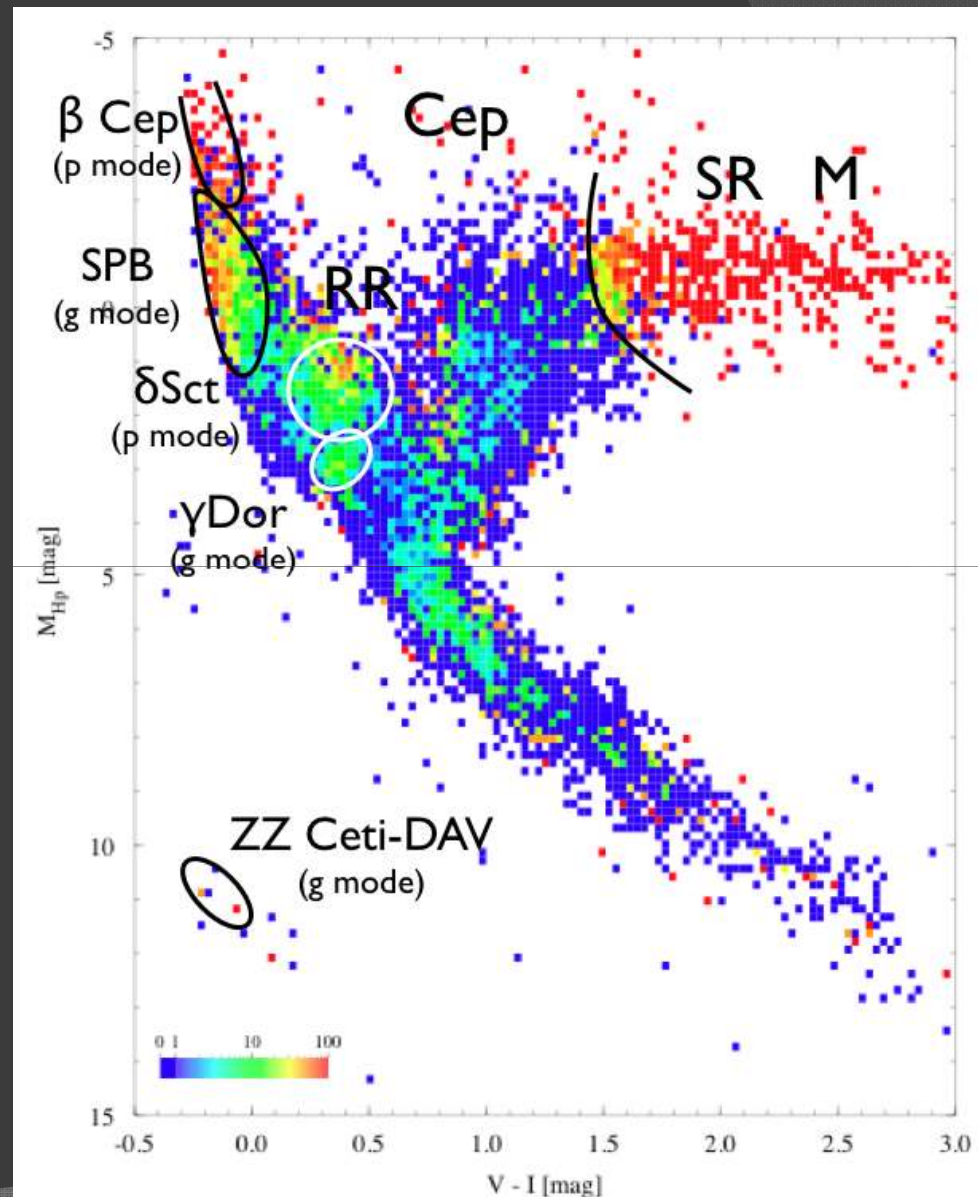
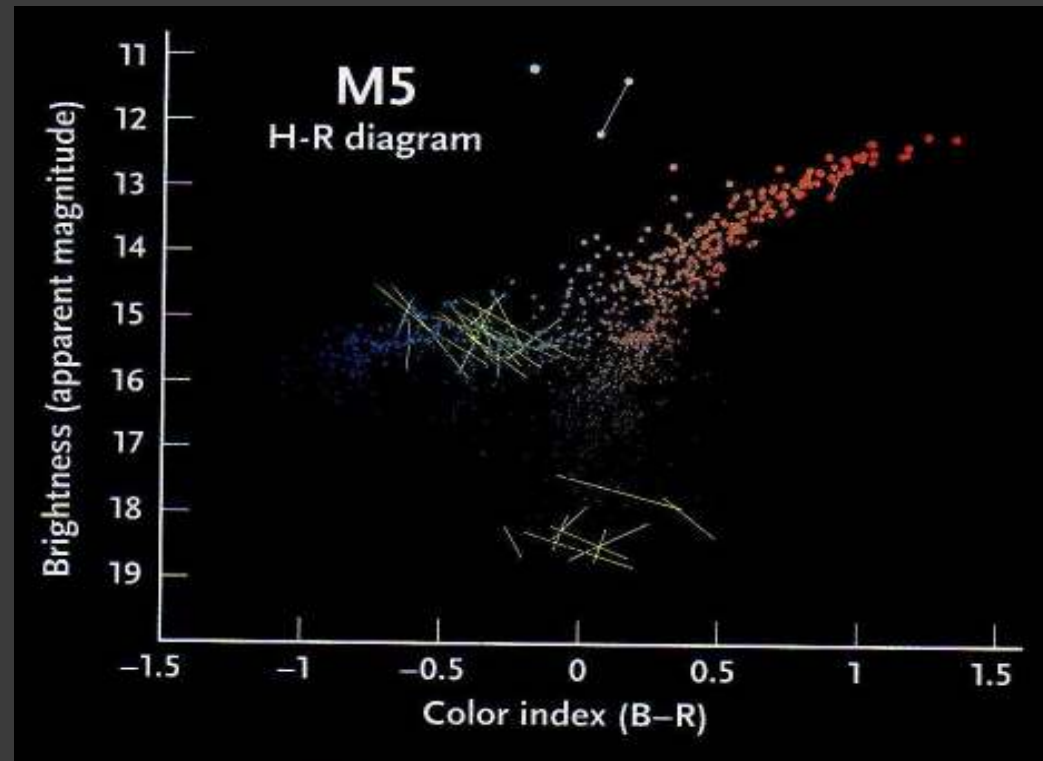


Diagramme H-R

Variation éclat et température → Mvt dans H-R



Une étoile variable peut se déplacer dans H-R
avec une période relativement courte

Loi de Planck

$$E(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

$h = 6.625 \times 10^{-27}$ erg·sec (Planck Constant)

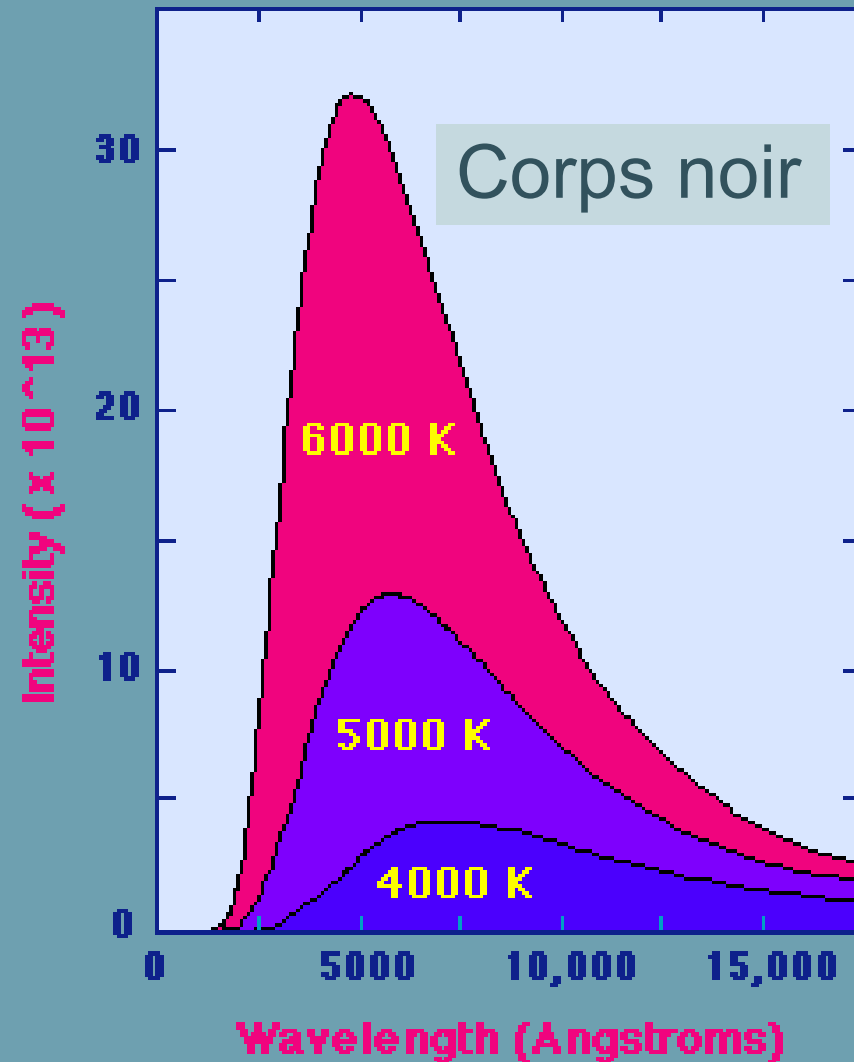
$k = 1.38 \times 10^{-16}$ erg/K (Boltzmann Constant)

$c = 3 \times 10^{10}$ cm/sec (Speed of Light)

E = radiance spectrale (erg . s⁻¹ . sr⁻¹ . cm⁻² . cm⁻¹)
Energie par seconde par steradian par surface
par **longueur d'onde**

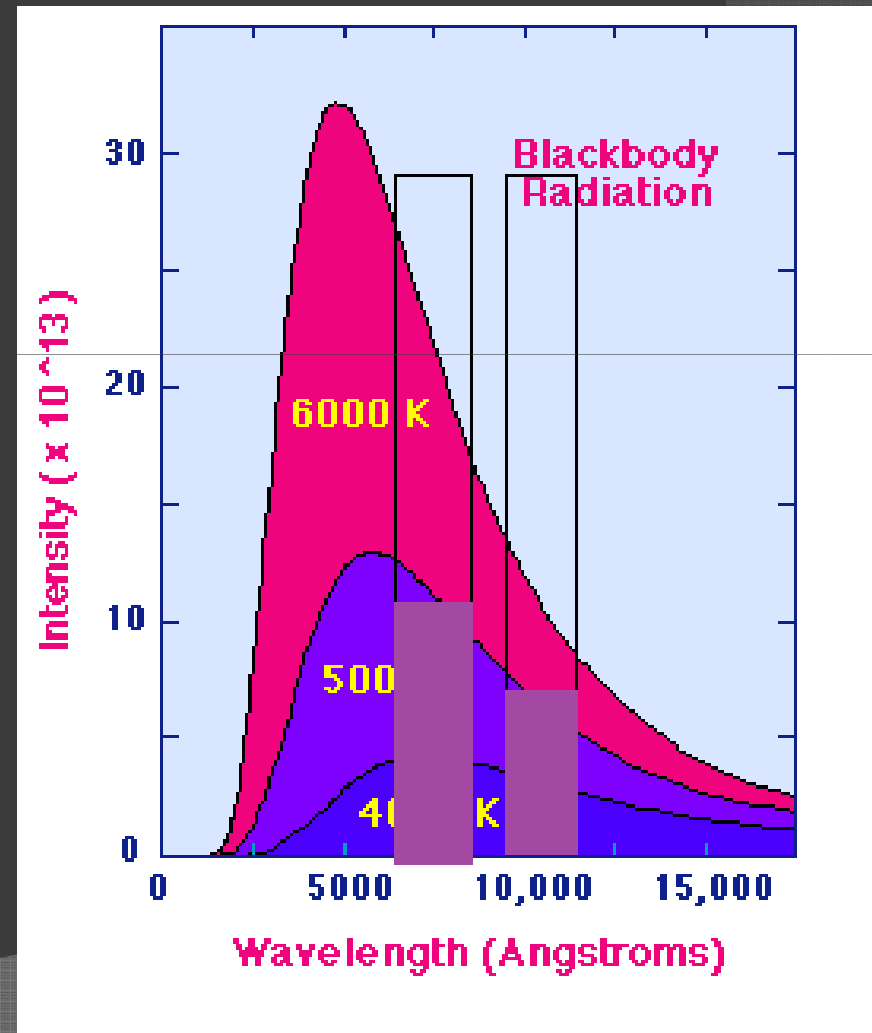
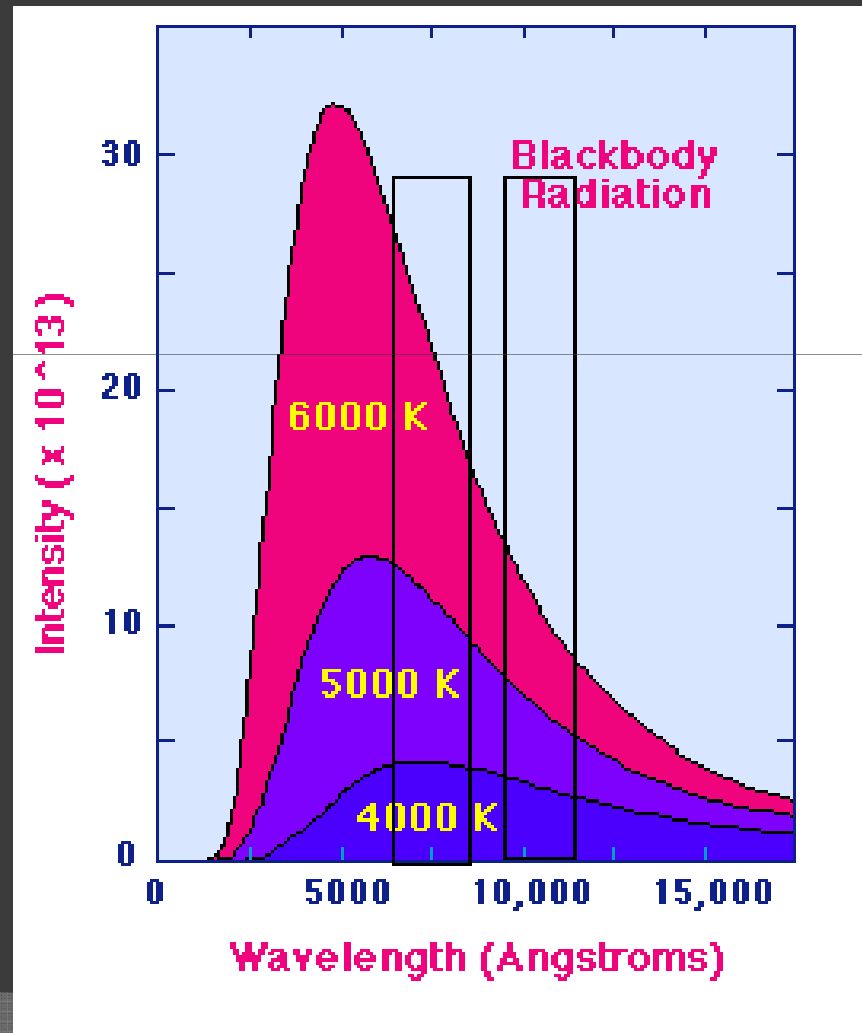
Intensité dépend

- Température
- Longueur d'onde
(couleur)

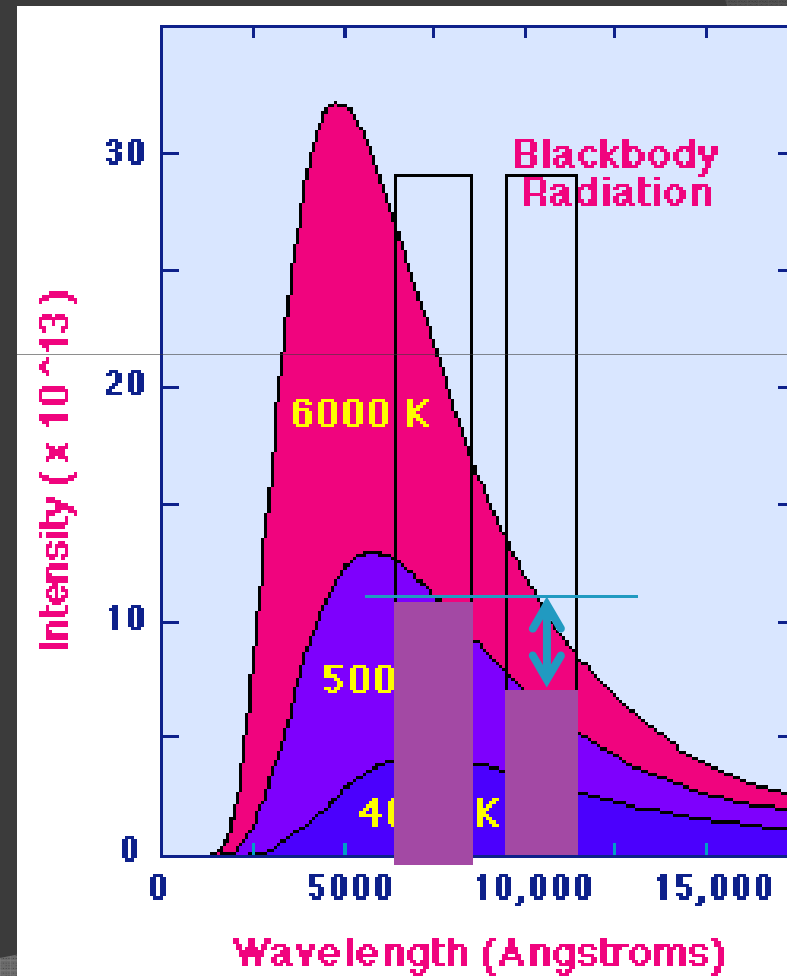
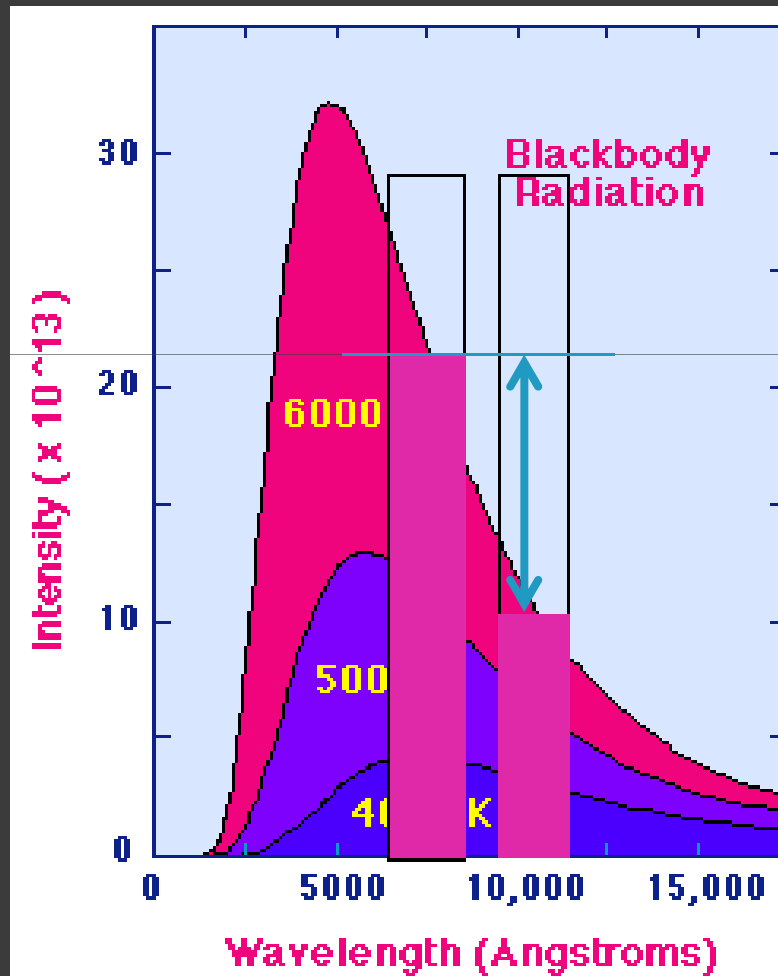


Loi de Planck

deux filtres



Loi de Planck



Loi de Planck

$$E(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

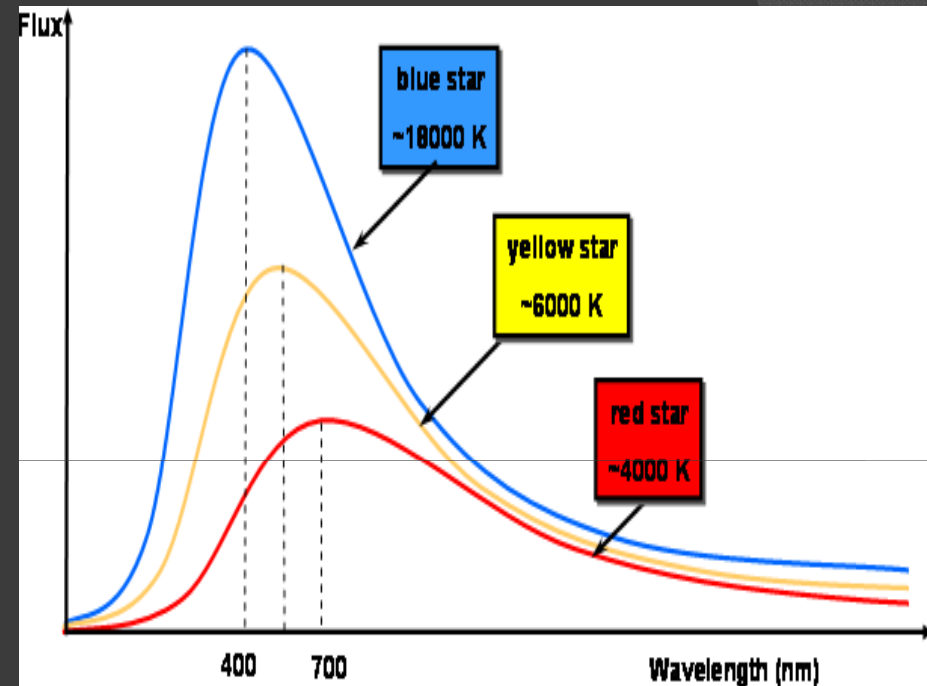
$h = 6.625 \times 10^{-27}$ erg·sec (Planck Constant)

$k = 1.38 \times 10^{-16}$ erg/K (Boltzmann Constant)

$c = 3 \times 10^{10}$ cm/sec (Speed of Light)

E = radiance spectrale (erg · s⁻¹ · sr⁻¹ · cm⁻² · cm⁻¹)

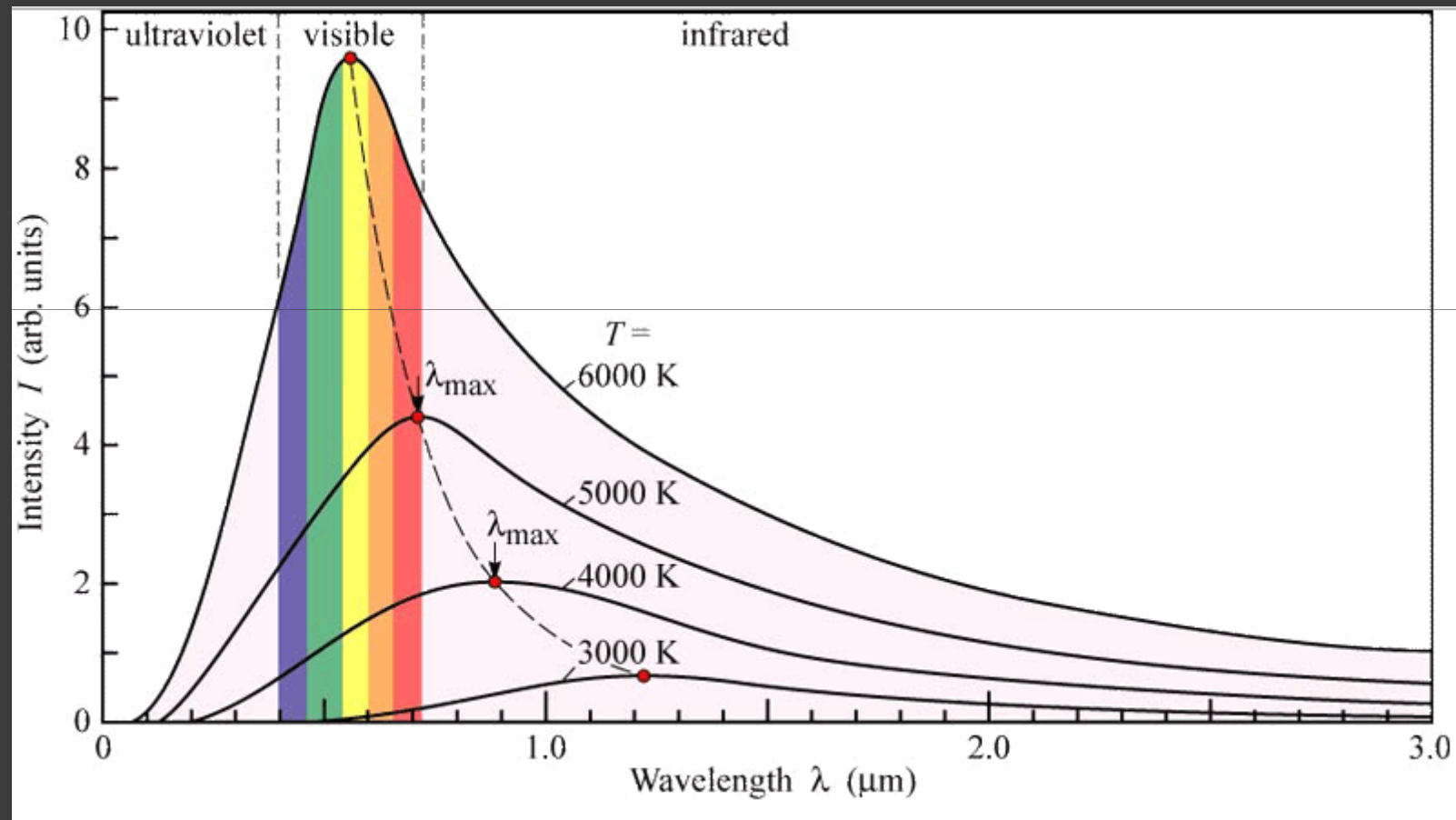
Energie par seconde par steradian par surface
par **longueur d'onde**



Intensité dépend

- température
- longueur d'onde

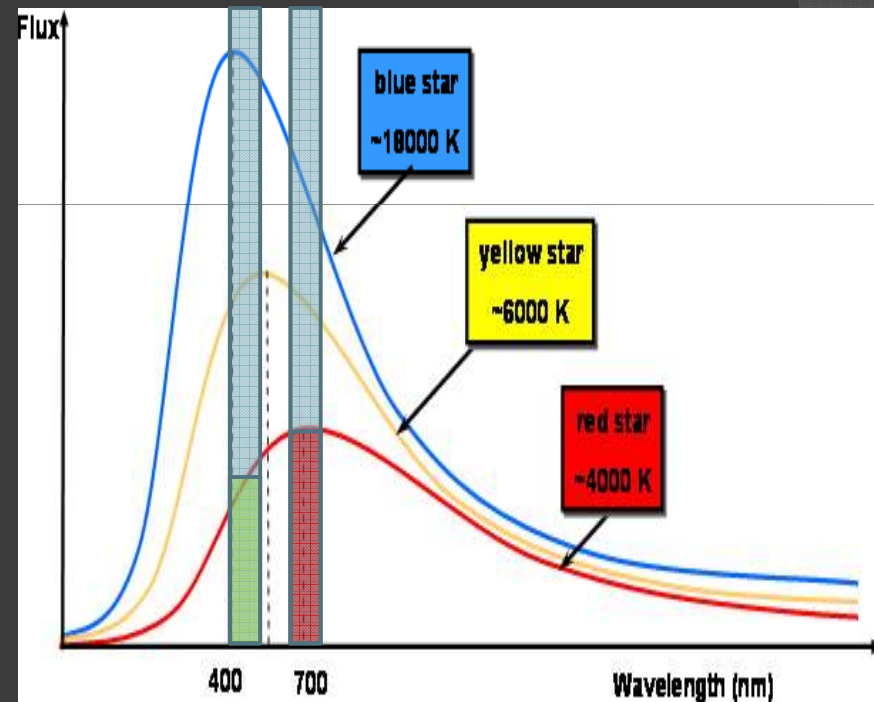
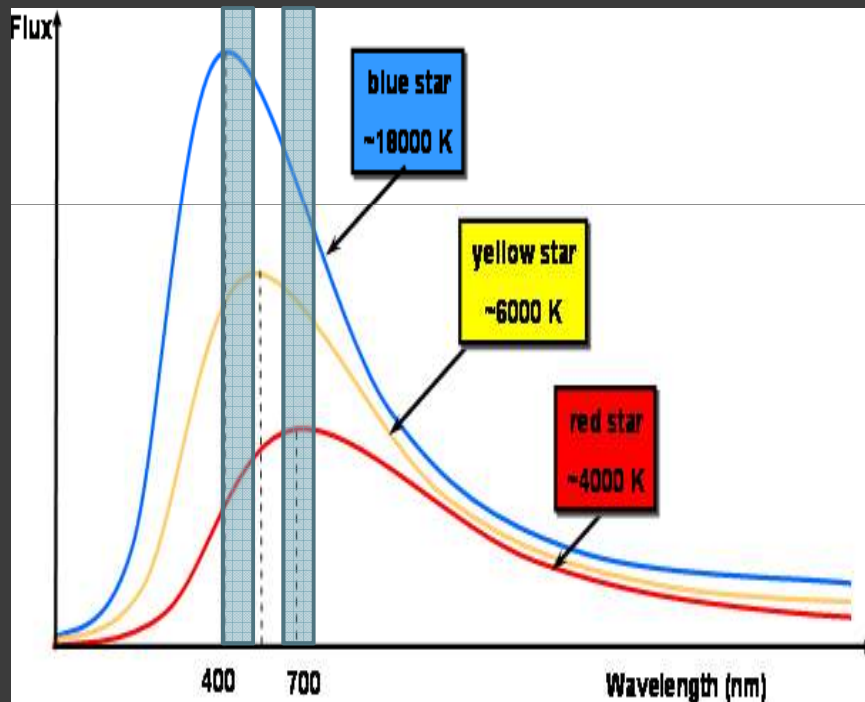
Loi de Planck



Loi de Planck

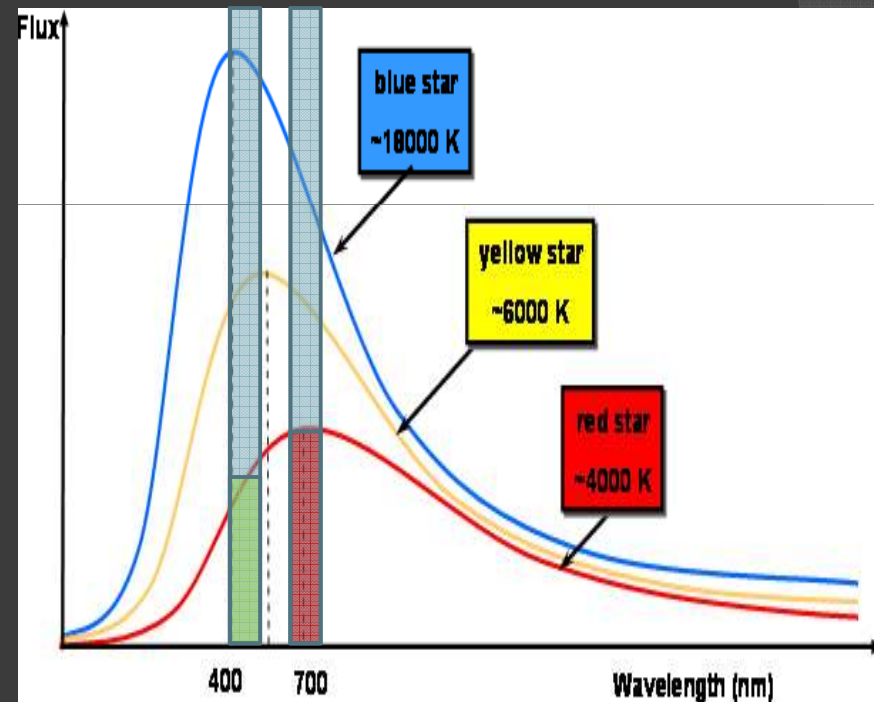
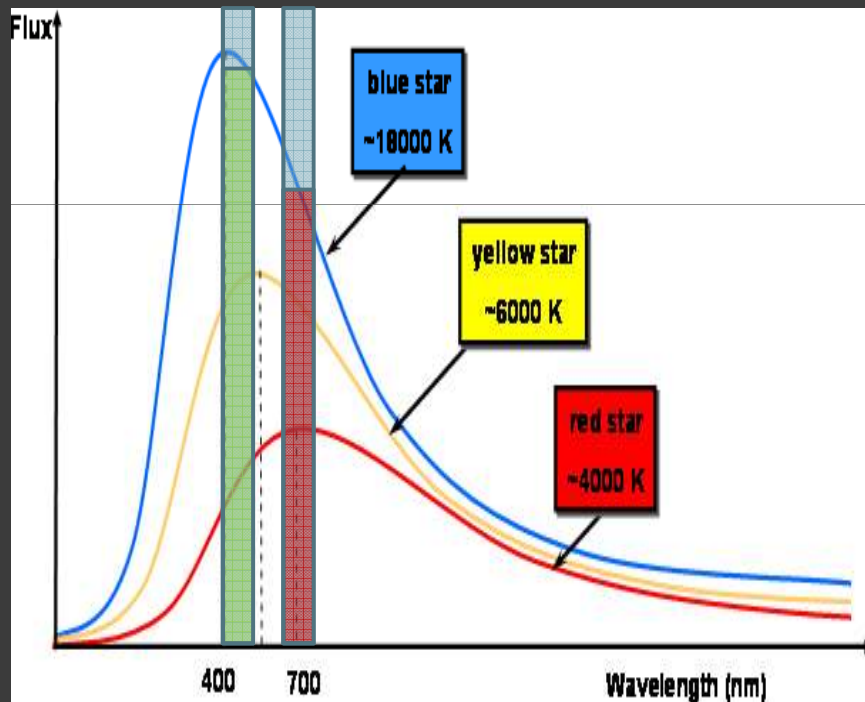
avec 2 filtres

l'énergie est différente dans les 2 filtres



Loi de Planck

voici le thermomètre pour étoile



étoile chaude - bleue

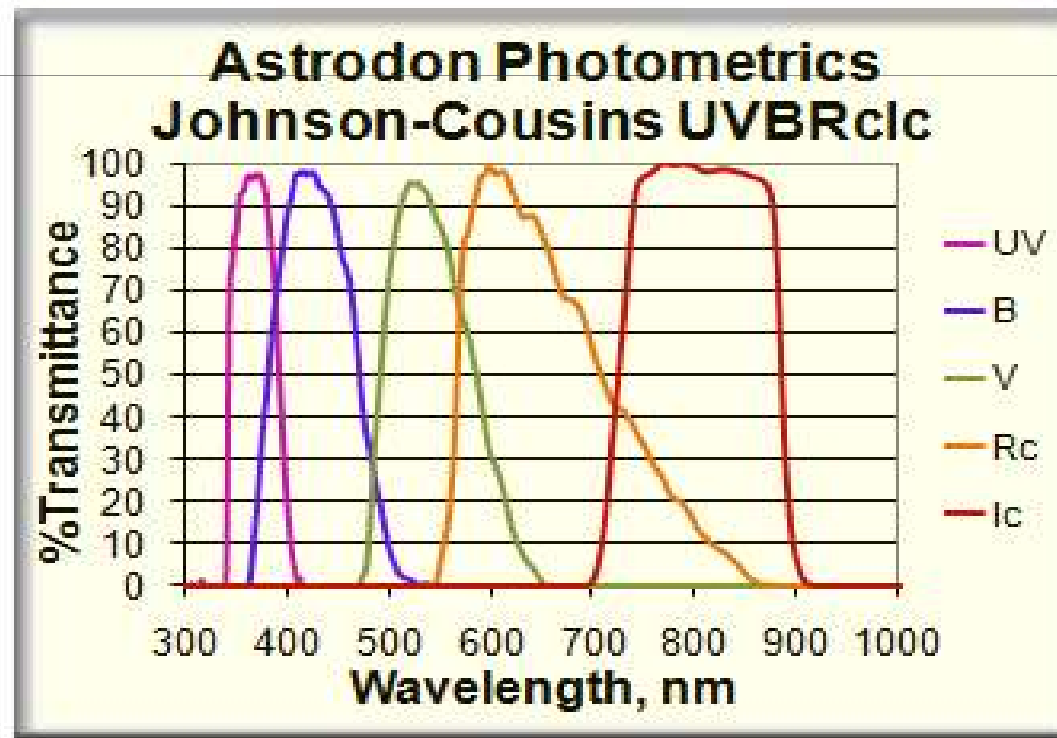
étoile froide - rouge

Mesure de XZ Lacertae (XZ Lac)

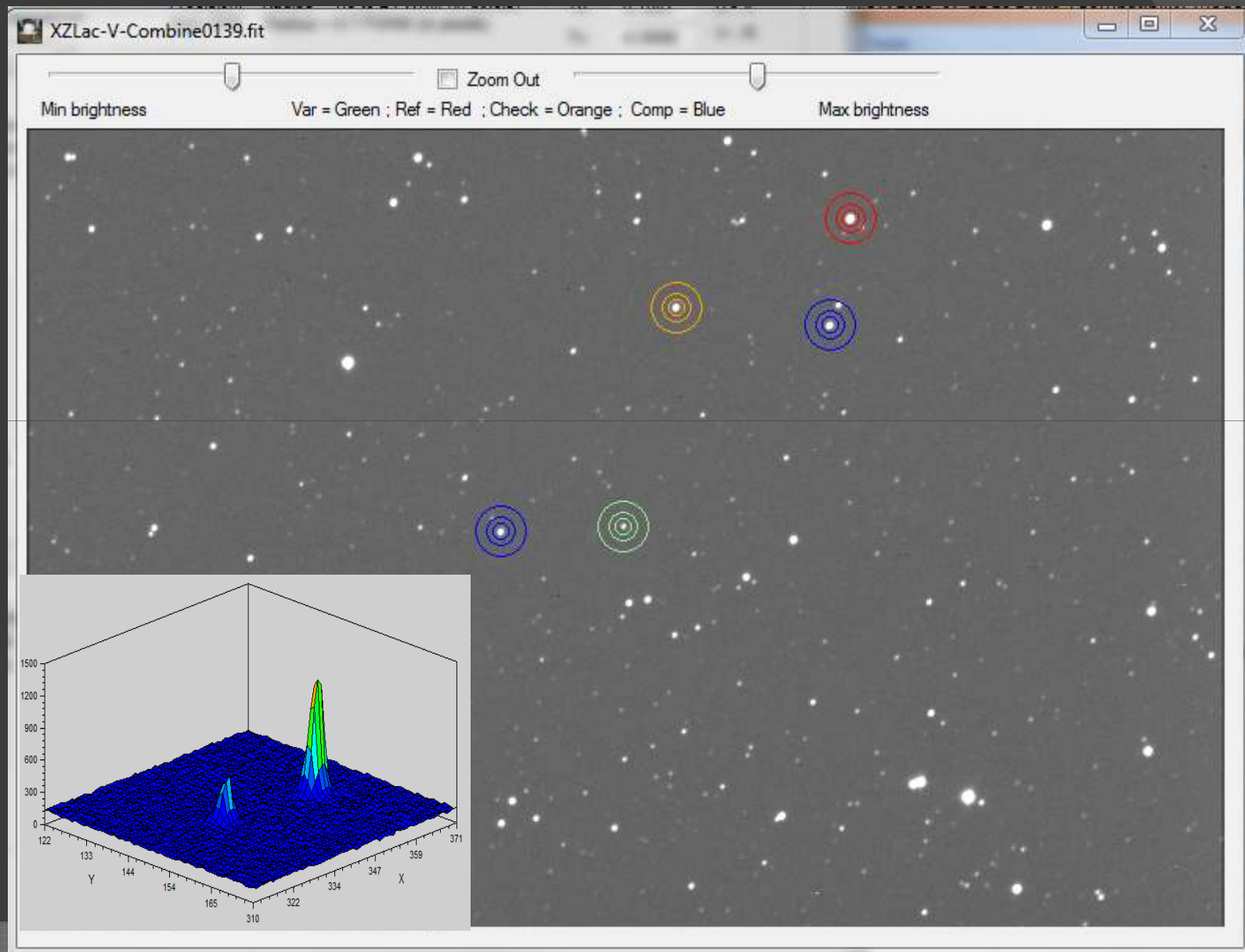
étoile dans le Lézard

Télescope + filtres + caméra CCD

- Deux filtres V et I (visuel et infrarouge)
- H alpha 656.281 nm
- On évite H alpha : rayonnement ne correspond pas à un corps noir



Photométrie

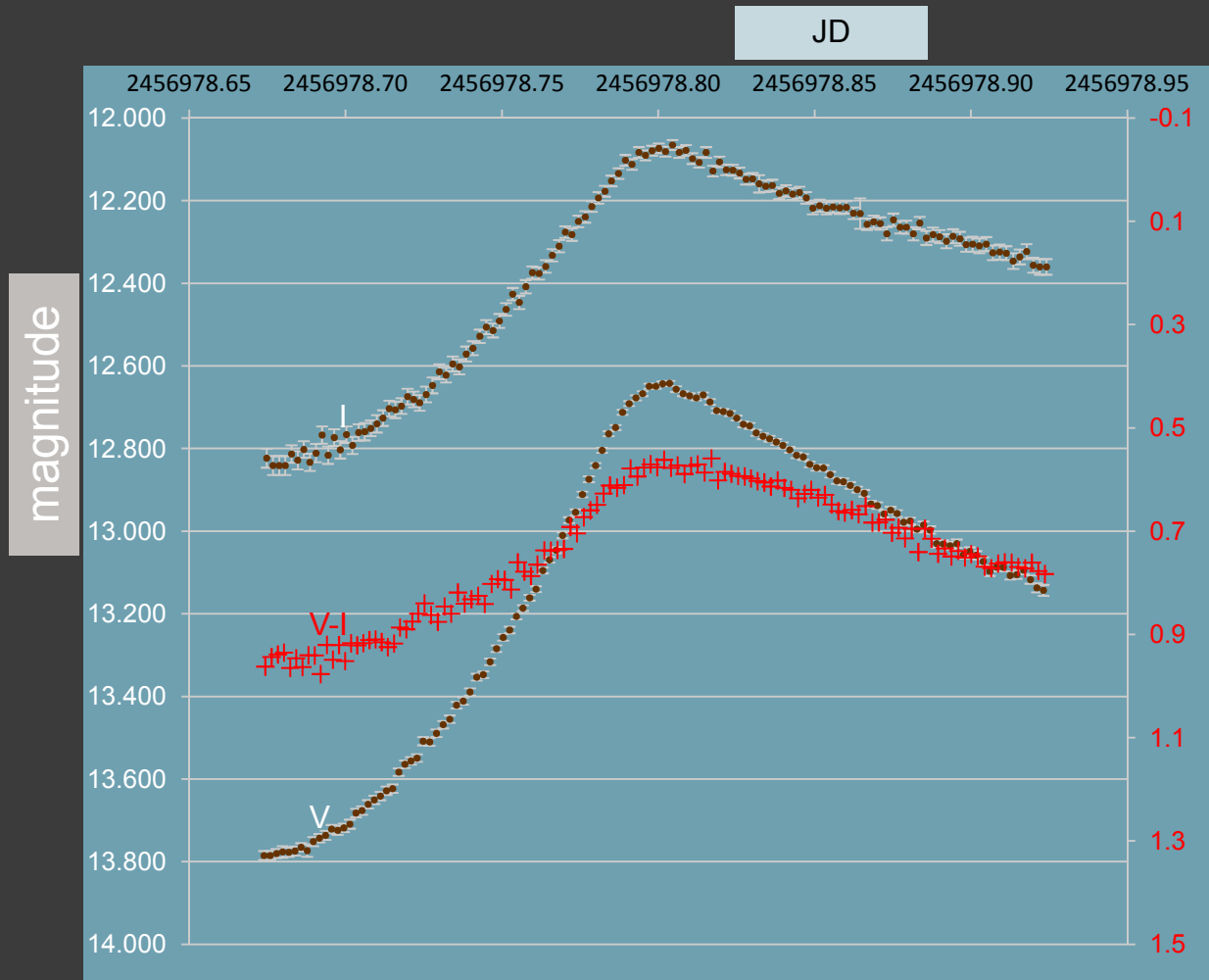


Photométrie

- Observations successives en V et I
- Tableau magnitudes en fonction du temps (JD)

FileName	Var	JD	Tr_Var	Var Err	Tr_Star1	Tr_Star2	Tr_Star3
XZLac-S001-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.67385	13.785	0.011	12.196	12.257	12.622
XZLac-S001-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.67471	12.823	0.023	10.848	11.062	11.899
XZLac-S002-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.67583	13.785	0.011	12.196	12.254	12.625
XZLac-S002-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.67671	12.841	0.023	10.848	11.075	11.882
XZLac-S003-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.67785	13.780	0.011	12.196	12.259	12.615
XZLac-S003-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.67870	12.841	0.023	10.848	11.072	11.895
XZLac-S004-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.67979	13.776	0.014	12.196	12.256	12.622
XZLac-S004-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.68064	12.841	0.023	10.848	11.058	11.884
XZLac-S005-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.68181	13.777	0.011	12.196	12.258	12.616
XZLac-S005-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.68265	12.813	0.021	10.848	11.064	11.885
XZLac-S006-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.68375	13.774	0.011	12.196	12.261	12.623
XZLac-S006-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.68462	12.828	0.022	10.848	11.061	11.876
XZLac-S007-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.68573	13.765	0.010	12.196	12.254	12.613
XZLac-S007-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.68656	12.802	0.020	10.848	11.077	11.890
XZLac-S008-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.68766	13.773	0.015	12.196	12.264	12.631
XZLac-S008-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.68853	12.833	0.021	10.848	11.068	11.895
XZLac-S009-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.68963	13.751	0.011	12.196	12.254	12.620
XZLac-S009-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.69049	12.811	0.022	10.848	11.070	11.888
XZLac-S010-V-R001-V.fits	XZ Lac	2456978.69157	13.743	0.010	12.196	12.256	12.618
XZLac-S010-I-R001-I.fits	XZ Lac	2456978.69244	12.767	0.021	10.848	11.063	11.891

Courbes de lumière



(V-I) →

→ bleu

→ chaud

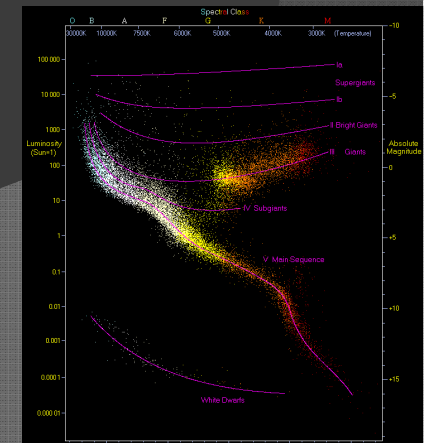
(V-I) →

→ rouge

→ froid

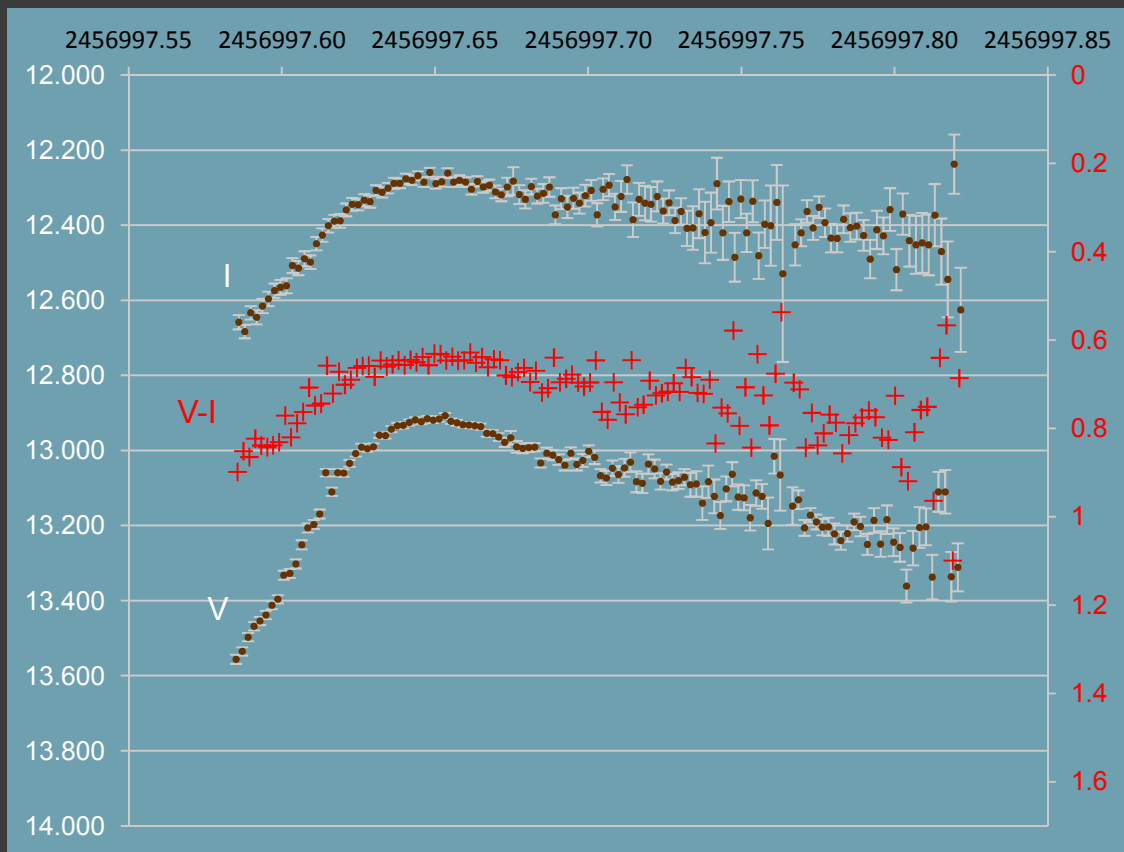
• (V-I) min = 0.962

• (V-I) max = 0.577



Courbes de lumière

- Toutes les nuits ne sont pas idéales



Température en fonction du temps

- Formule approximative pour la température

- $T = 9385 / ((V-I) + 0.95)$ (Kelvin)

- $V-I \text{ min} = 0.962$

- $V-I \text{ max} = 0.577$

- $T \text{ min} = 4908 \text{ K}$

- $T \text{ max} = 6146 \text{ K}$

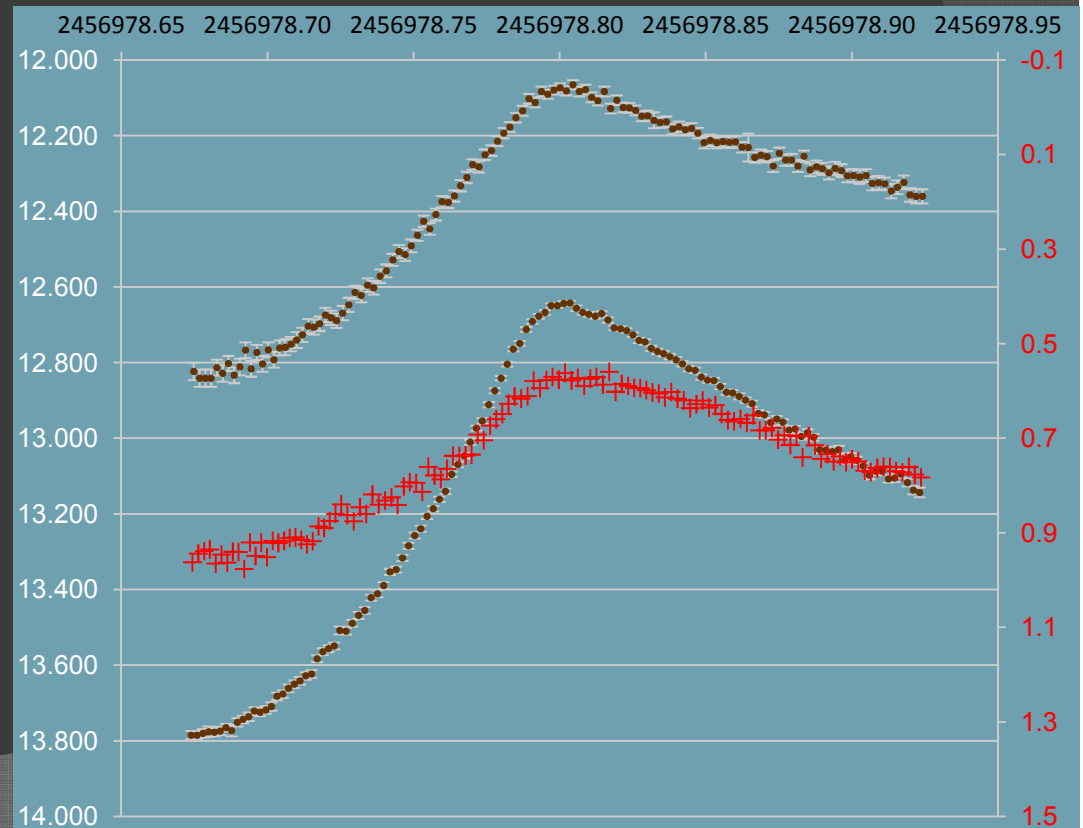
- $\Delta T = 1238 \text{ K}$

- $JD \text{ min} = 2456978.6743$

- $JD \text{ max} = 2456978.8040$

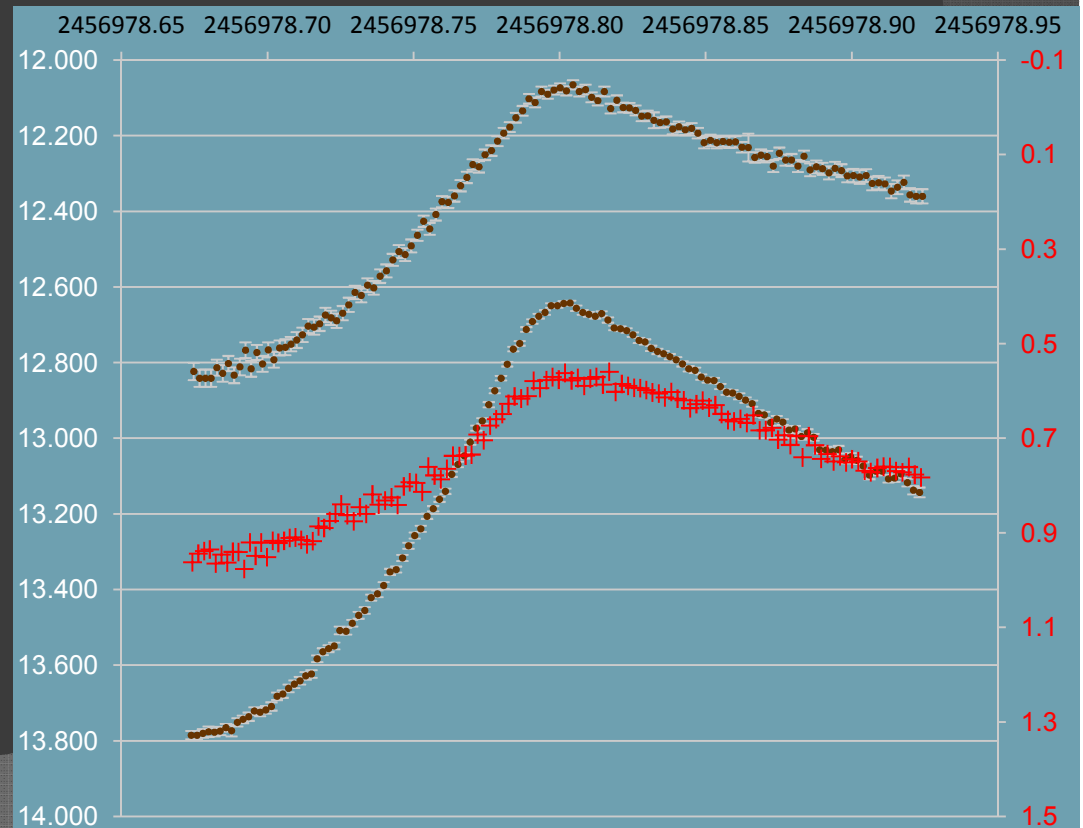
- $\Delta JD = 0.1298 \text{ jour} = 3\text{h } 7 \text{ min}$

- 400 K par heure



XZ Lac étoile pulsante

- XZ Lac est une RR Lyrae (RRab)
- Elle pulse en 0.63 jour (15h 7min)
- La variation de la magnitude est surtout due à la variation de température
- Luminosité = $cst R^2 T^4$
 - R = rayon
 - T = température
- $\Delta R = 10\% \rightarrow \Delta mag = 0.21$
- $\Delta T = 20\% \rightarrow \Delta mag = 0.79$



Précision de la mesure de température

- Formule approximative pour la température

- $T = 9385 / ((V-I) + 0.95)$ (Kelvin)

- Sources d'erreurs

- bande passante des filtres photométriques
 - procédure de transformation au système standard (UBVRcl)
 - basée sur calibration réalisée sur des champs de référence dont M67 dans le Cancer
 - Etalon proche de « Vega » $U=B=V=R=I=0$
 - précision des magnitudes de référence
 - qualité du catalogue d'étoile utilisé
 - (les magnitudes de références du même catalogue)
 - précision des mesures photométriques
 - qualités des images (ciel, calibrations)

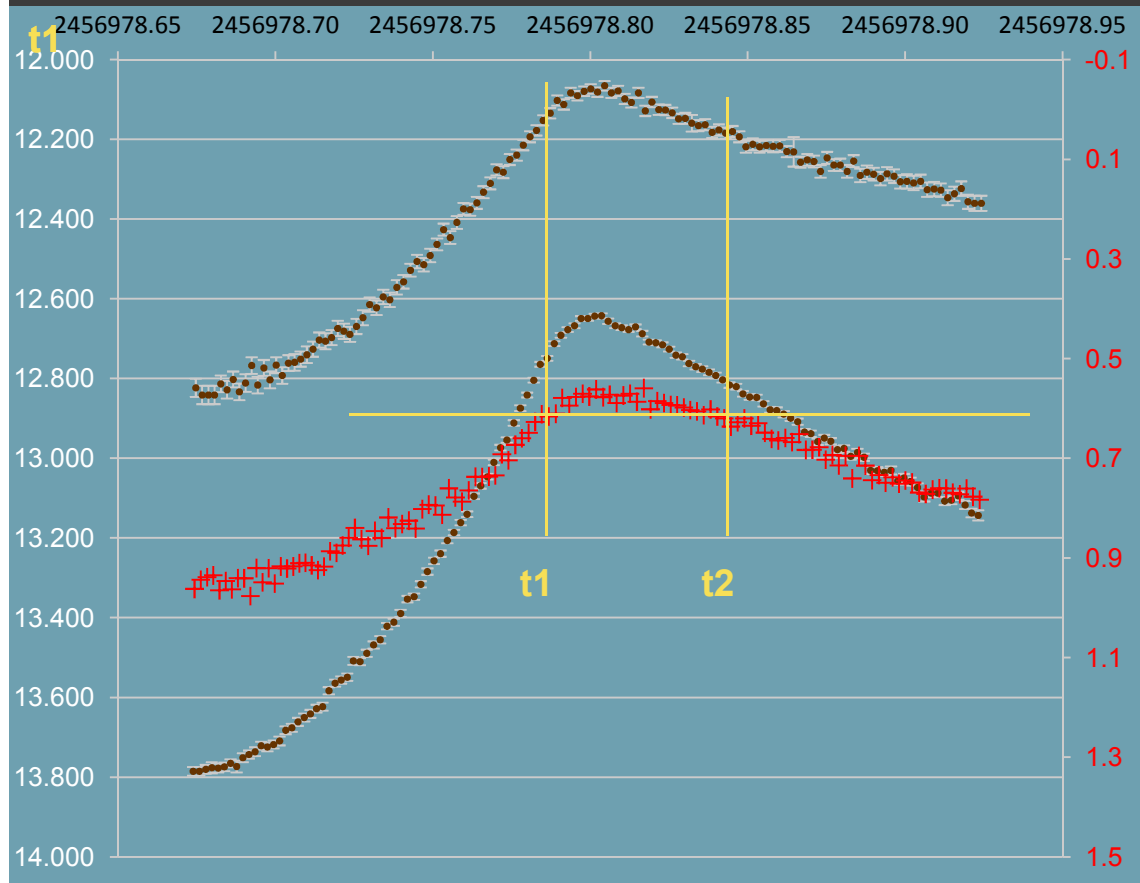
- Résultats : 4908 à 6146 K

- Littérature (H. Smith « RR Lyrae stars » page 9)

RR Lyrae stars of type RRab appear to have a **mean** effective temperature near **6100K**. However these limits are subject to some uncertainty. Different color-temperature relations in the recent literature yield effective temperature for the hottest and coolest RR Lyrae stars which differs by as much as 300K

Baade - Wesselink

- déterminer la variation relative du rayon de l'étoile ($\Delta R/R$)
- c'est possible pour les céphéides
- mais l'onde de choc des RR Lyrae ne permettent pas de bien appliquer la méthode



t1 et t2

- même (V-I)
- même couleur
- même température
- différence de magnitude
- → différence de rayon

Conclusion

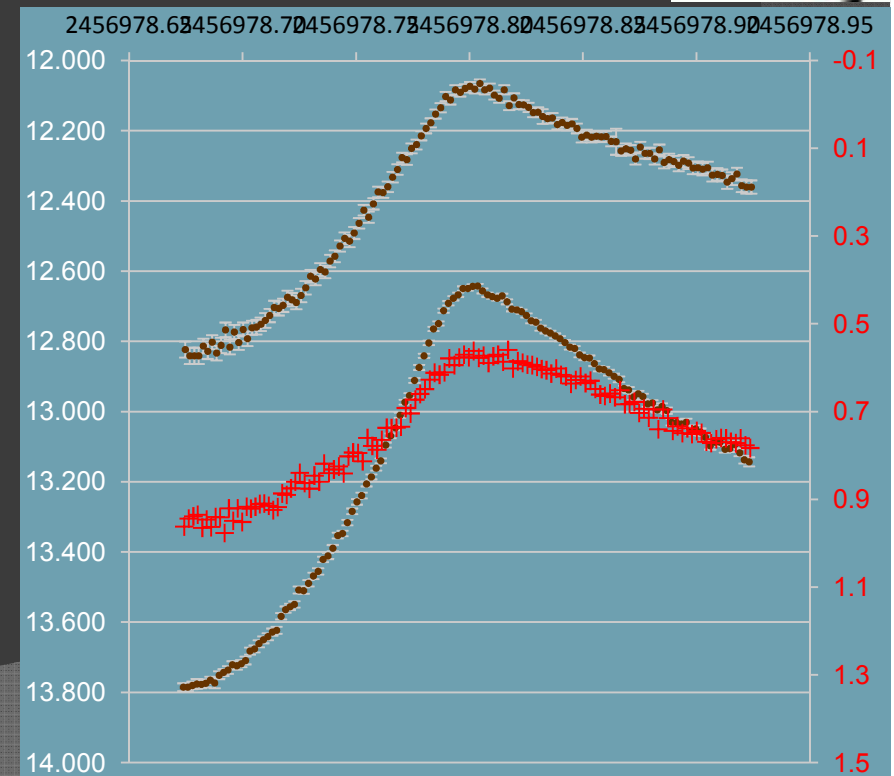
Un astronome amateur peut avoir le bras long
et déposer son thermomètre sur la
photosphère les étoiles

il est possible de déterminer avec une précision raisonnable

la variation de température et de couleur

d'une étoile pulsante

à partir des observations d'une seule nuit.





THE END