

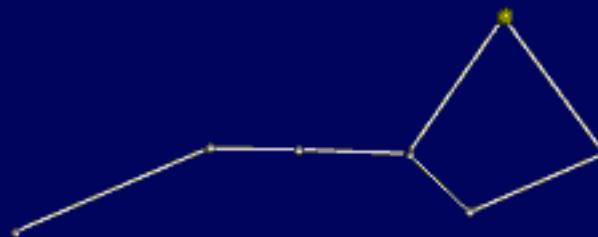
Les étoiles

Eric Lagadec



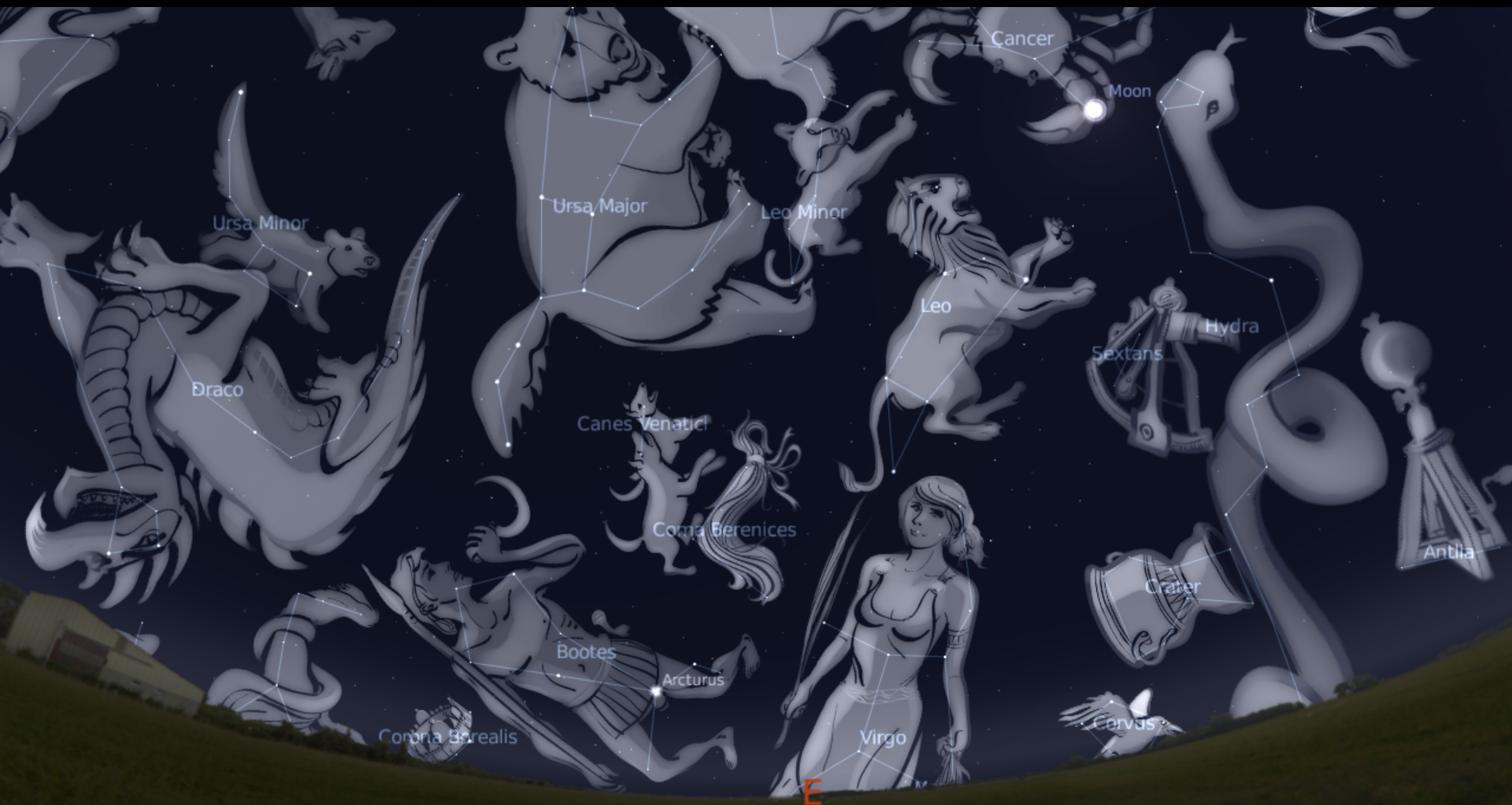
Les constellations

- ~6000 étoiles visibles à l'œil nu
- Noms de constellations (personnages mythologiques, animaux, objets...)
- 1922: définition par l'UAI de 88 constellations



La grande ourse

Il y a 100 000 ans





Moon

Fireplace

Dipper

Thunderbird

E

Mars





Earth, Nice, 16m

FOV 98.5°

145 FPS

2014-02-13 22:57:24

Le nom des étoiles

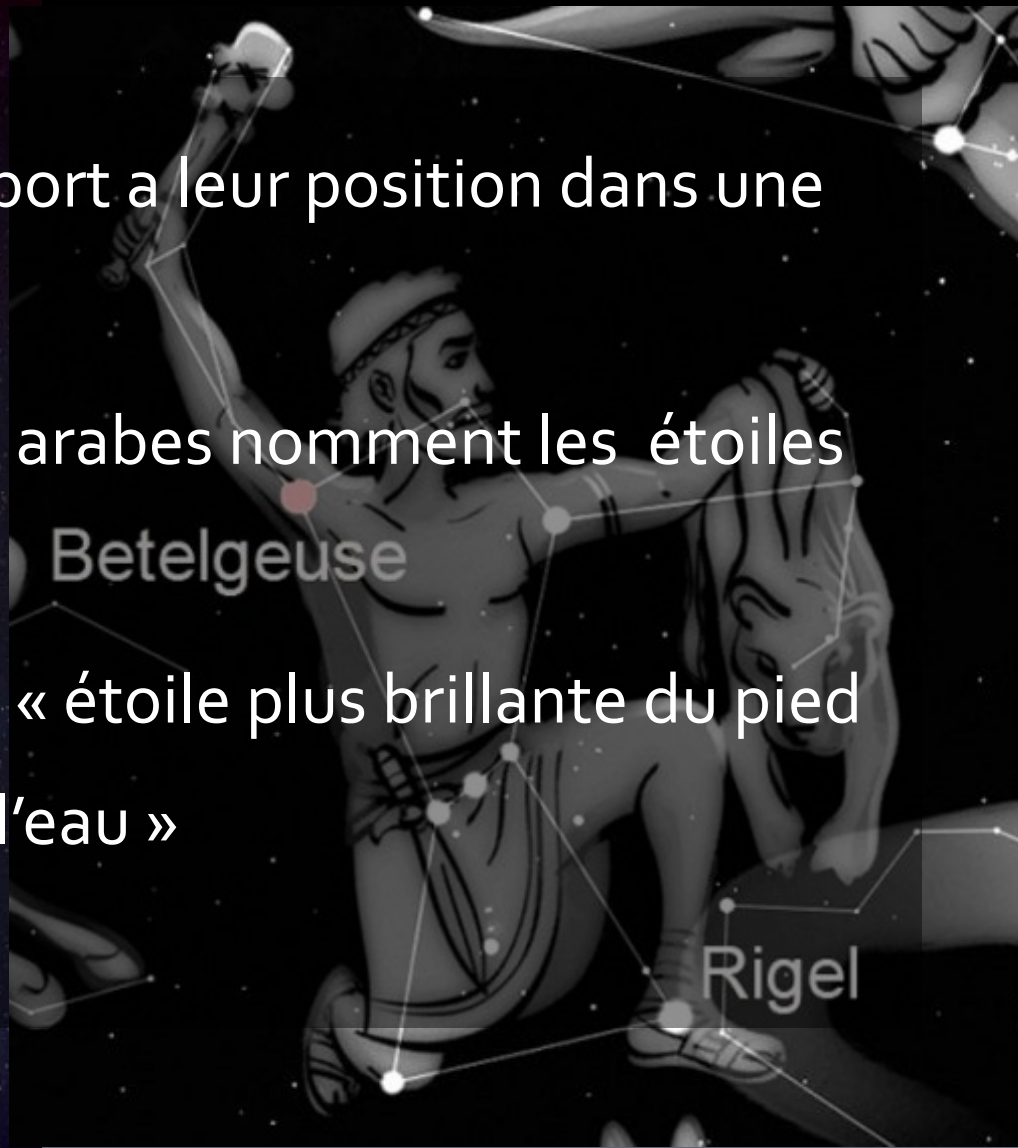
- Antiquité: noms par rapport a leur position dans une constellation
- Moyen âge: astronomes arabes nomment les étoiles les plus brillantes
- Rigel (Orion): Ptolemee: « étoile plus brillante du pied gauche en contact avec l'eau »
- Rigel= pied en arabe

Betelgeuse

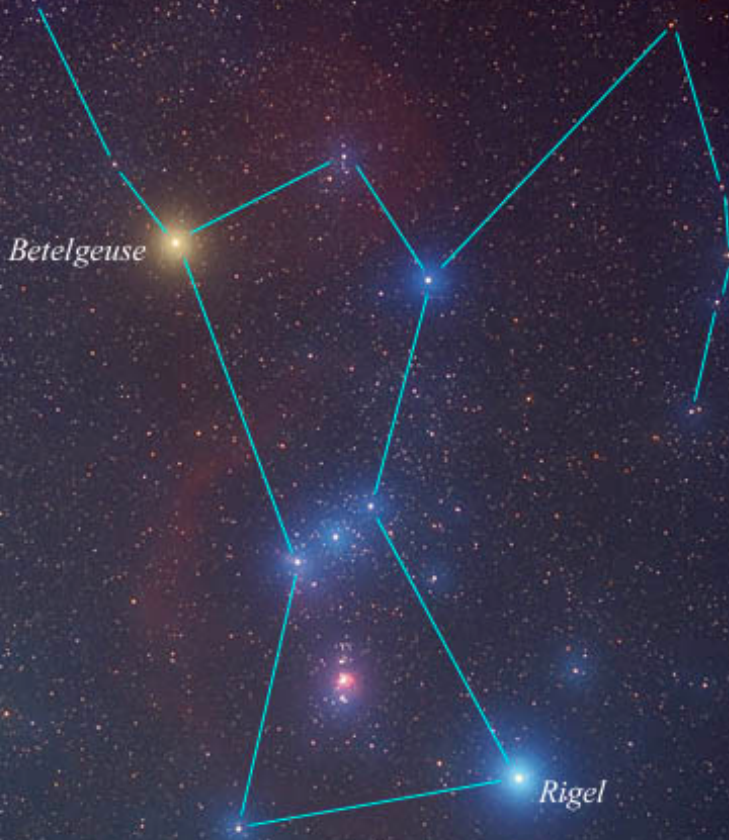
Rigel

Betelgeuse

Rigel



Le nom des étoiles



La nébuleuse d'Orion



La nébuleuse d'Orion



Orion



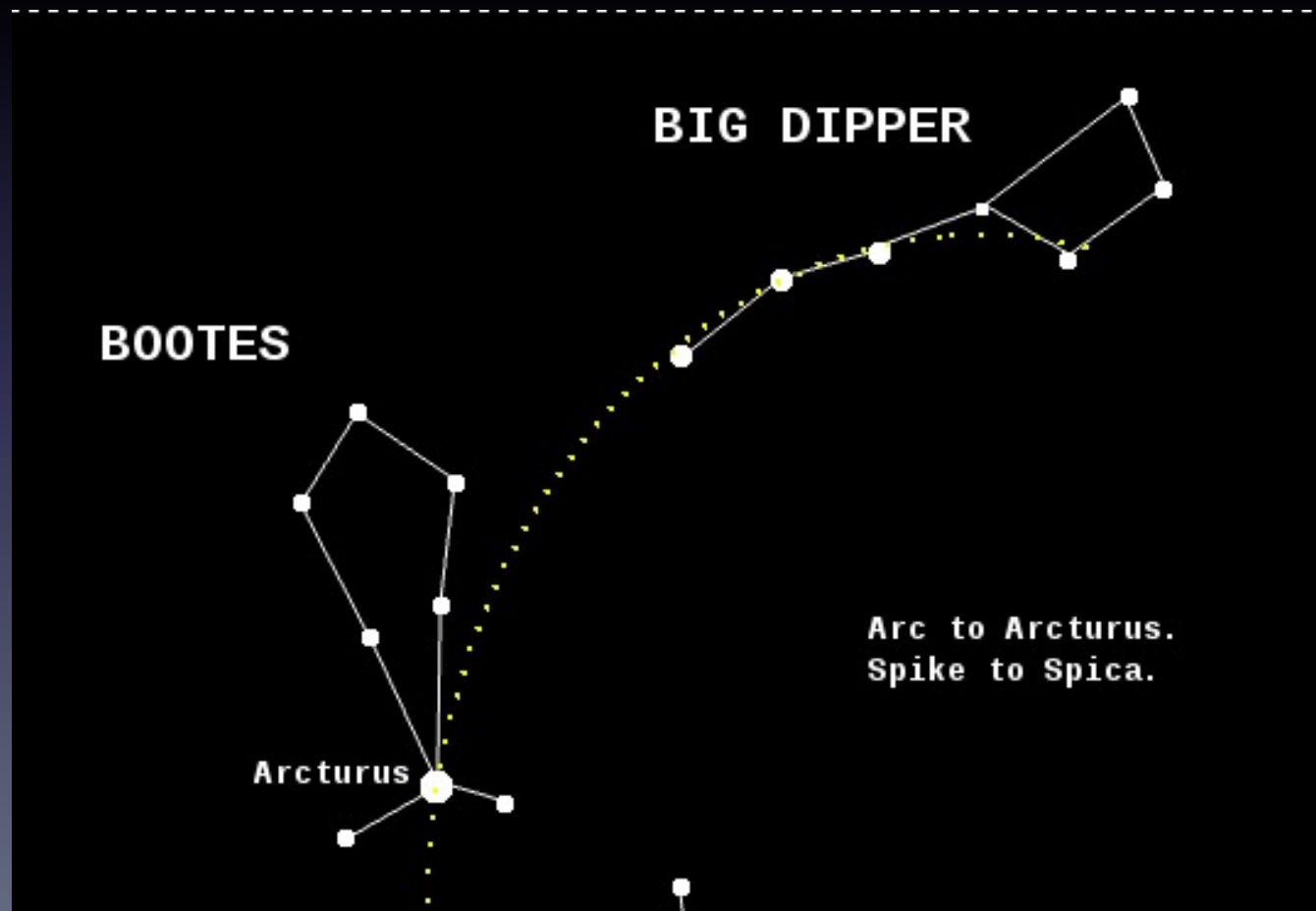
Orion



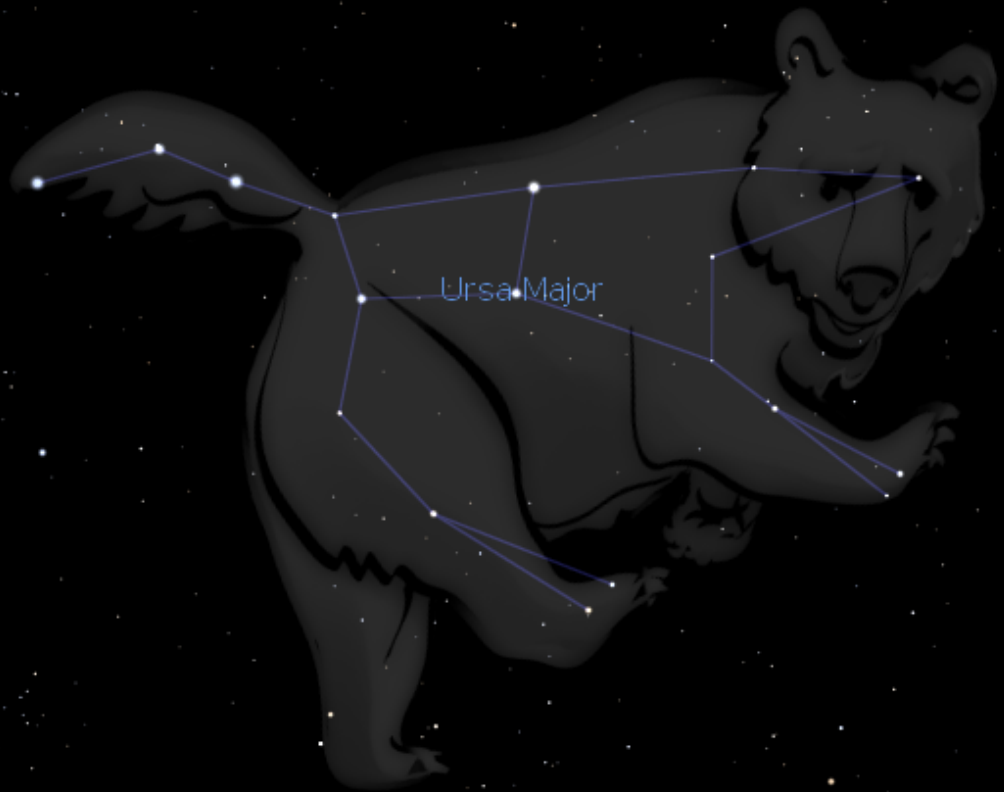
Nom des étoiles

- 17^{eme} siècle: classement par luminosité décroissante en suivant l'alphabet grec, puis latin et génitif du nom latin de la constellation
- Arcturus: α Bootis (Bouvier en Latin)

Arcturus



Le bouvier



L'étoile polaire









copyright Stéphane Guisard

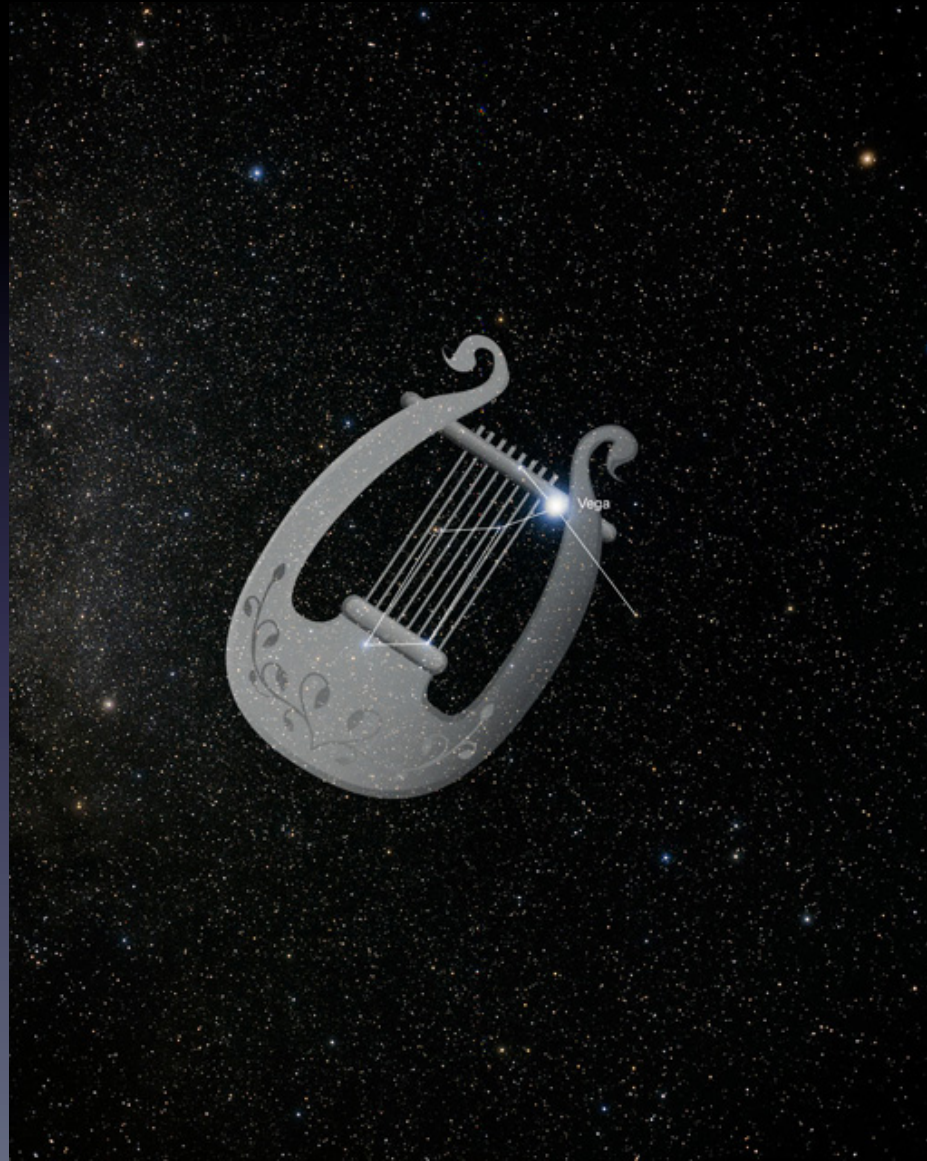




Nom des étoiles

- Aldebaran (la suivante): α Taurus
- Altair (l'aigle volant): α Aquila
- Antares (anti Ares, rivale de Mars): α Scorpio
- Arcturus (à la queue de l'ours): α Bootis
- Betelgeuse (Ibt al Jauzah, l'épaule du géant): α Orionis
- Castor et Pollux: α et β Geminorum
- Deneb (al dhanab al dajajah, la queue de la poule): α Cygnus
- Vega (al waki, la lyre): α Lyrae

La Lyre



Noms modernes

- Numéros dans des catalogues spécifiques (étoiles variables, binaires, satellites, relevés...)
- Plusieurs noms pour la même étoile
- Betelgeuse: α Ori, CCDM J0552+0724AP, HD 39801, Hip 27989, HR 2061, IRAS 05524+0723, IRC +10100, 2MASS J05551028+0724255, RAFGL 836, AAVSO 0549+07

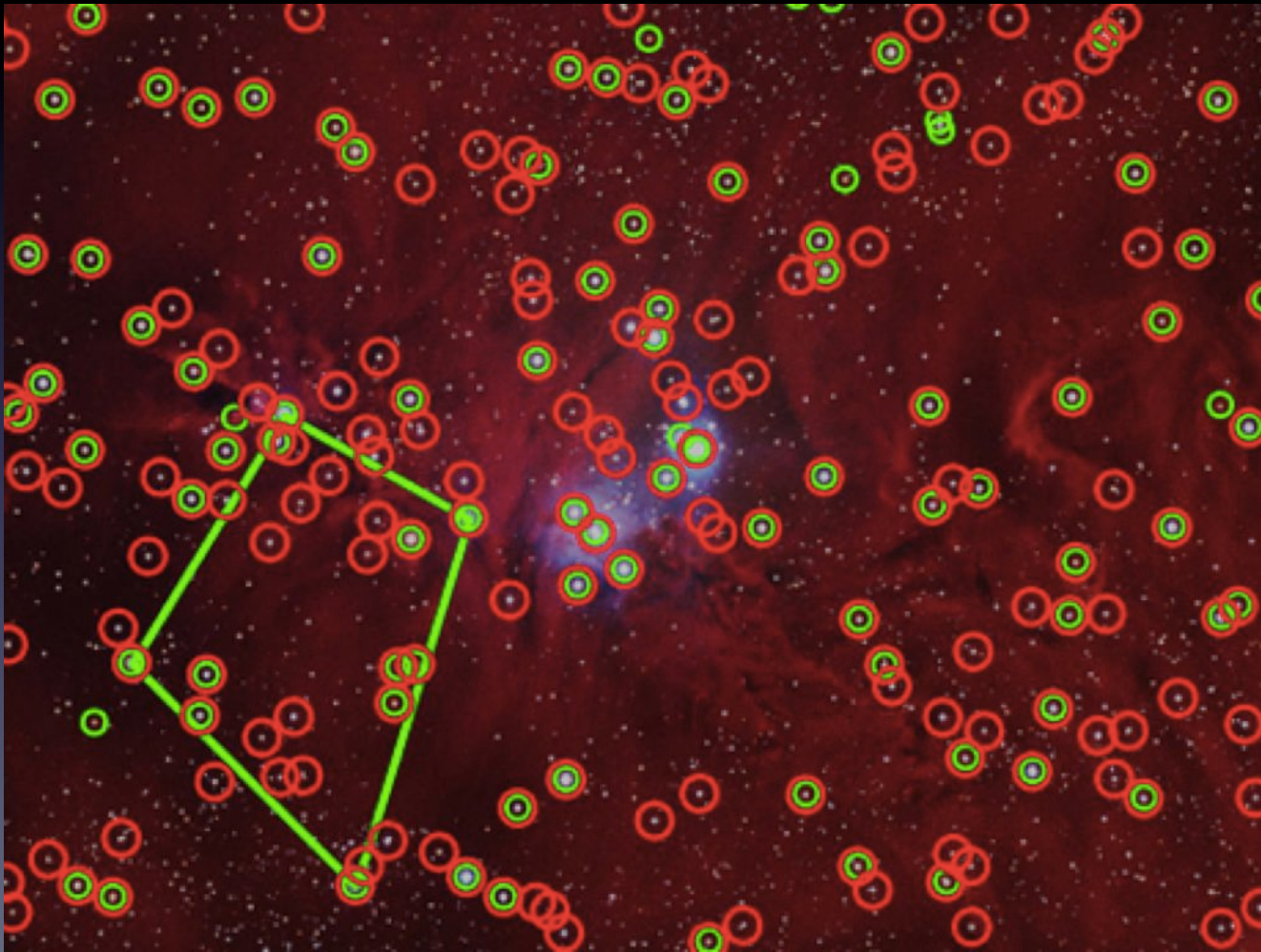
Information: lumière

- Analyse spatiale du flux de lumière: imagerie



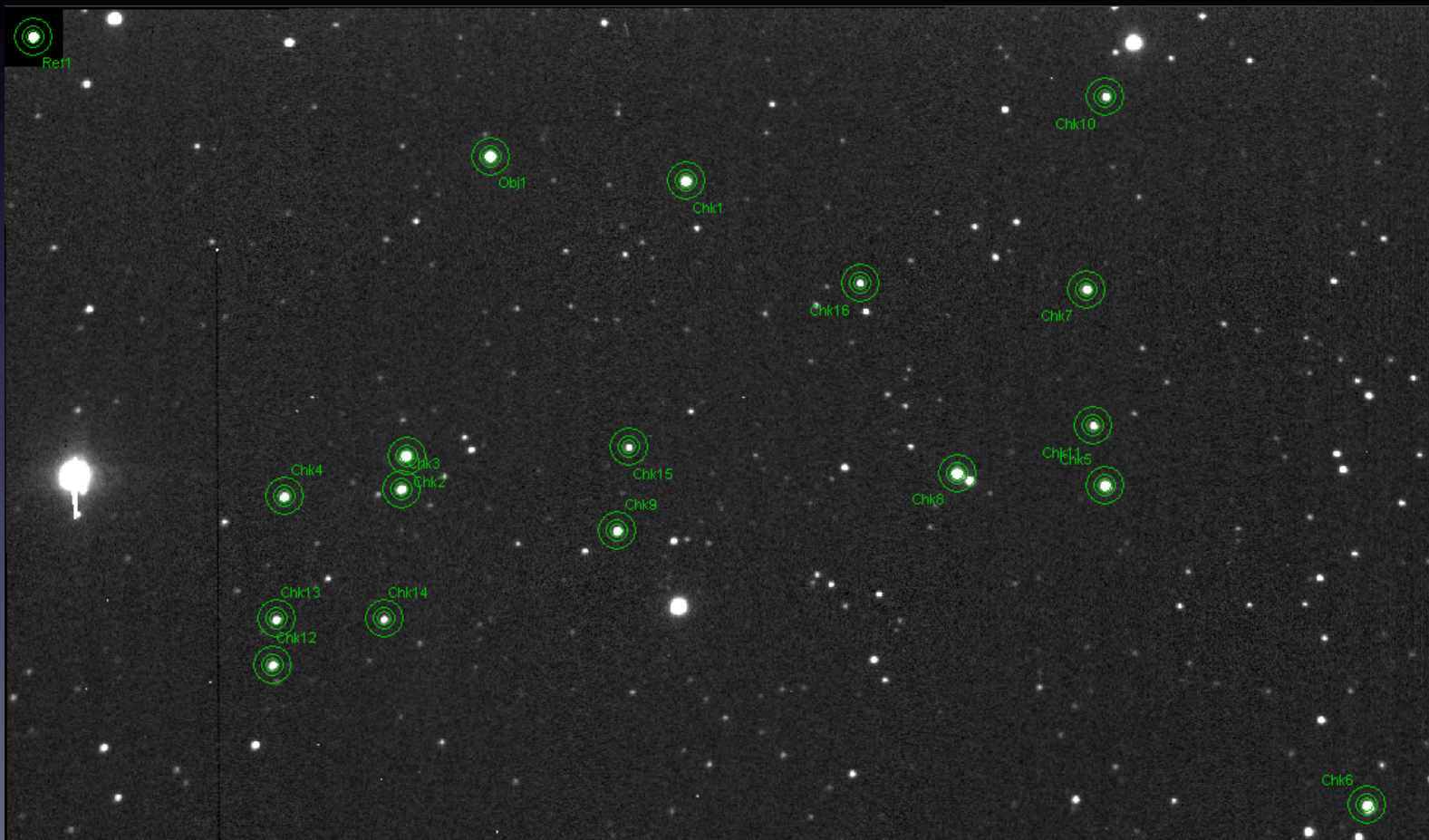
Information: lumière

- Mesure des positions des astres: astrométrie



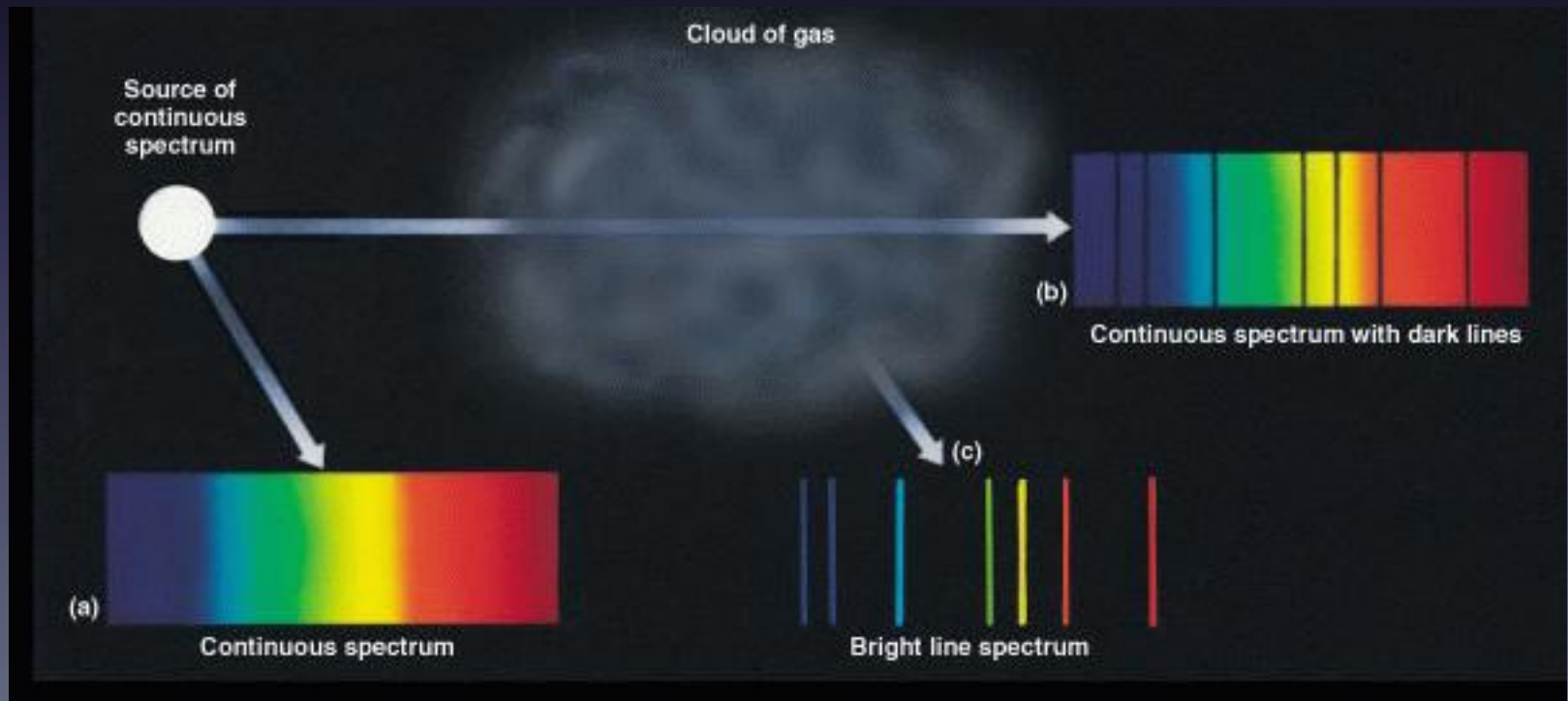
Information: lumière

- Mesure du flux dans différentes bandes de couleur: photométrie



Information: lumière

- Analyse détaillée du spectre: spectroscopie

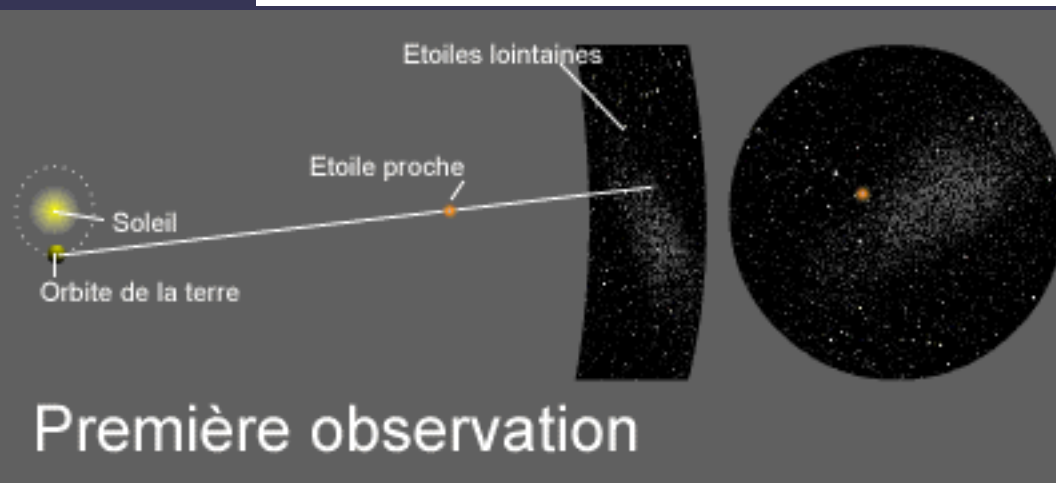
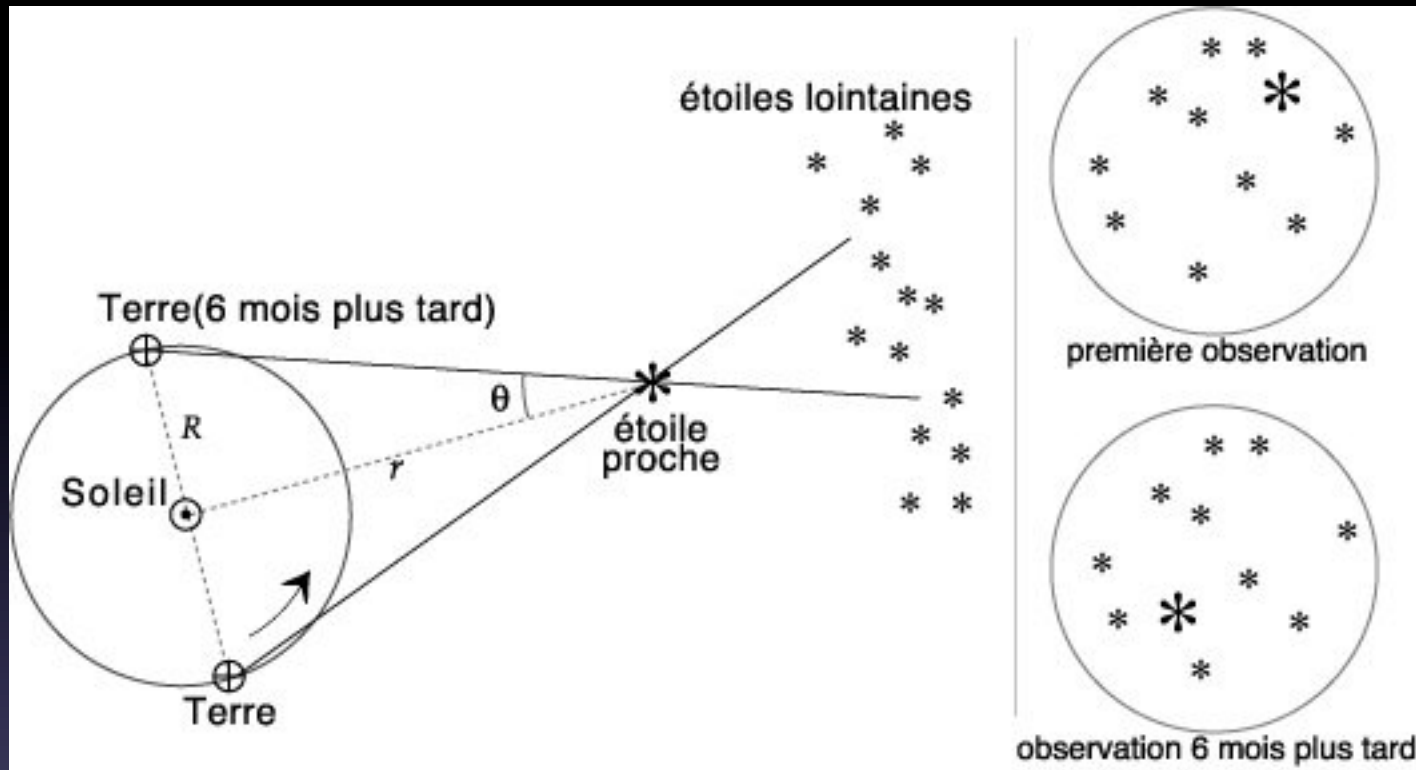


Information: lumière

- Mesure de la polarisation de la lumière:
polarimétrie



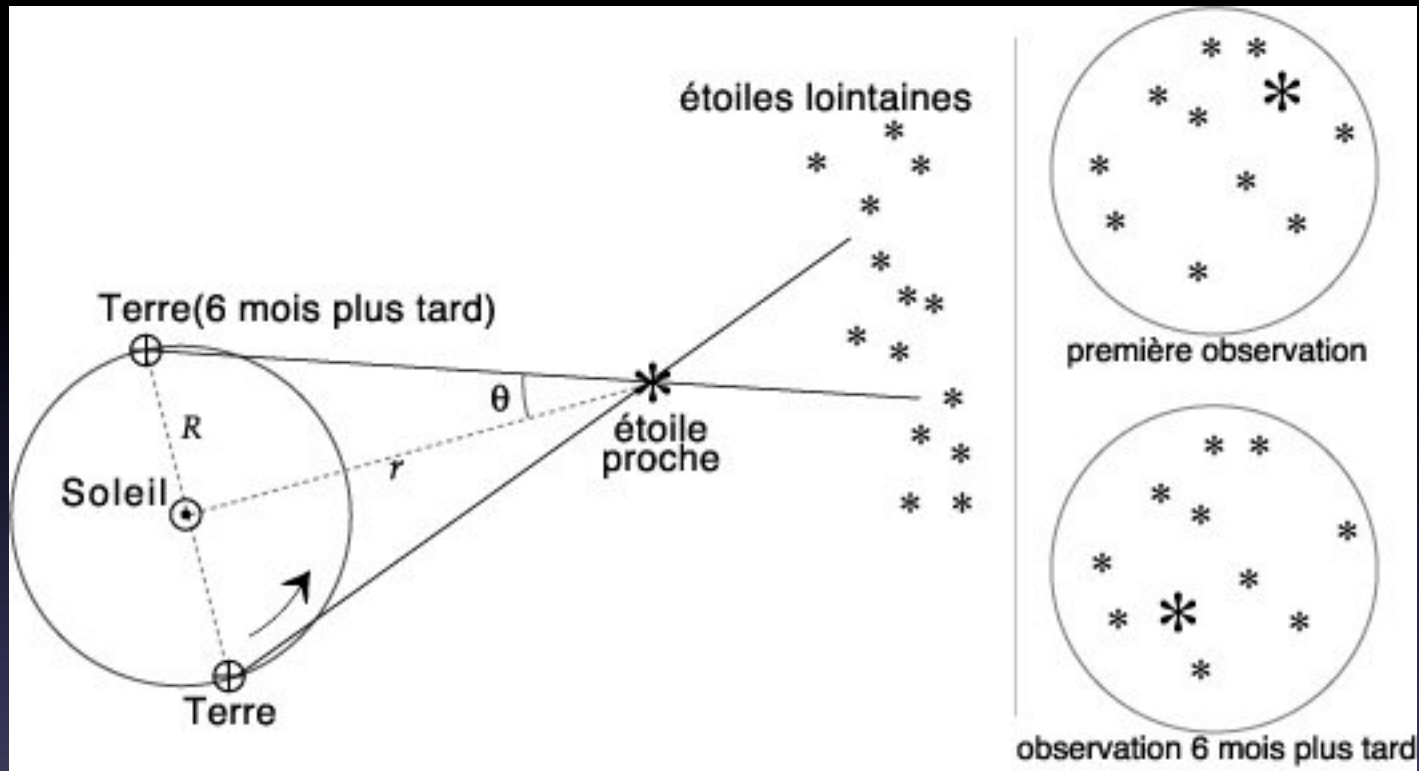
Mesure de distances: parallaxe



$$\tan \theta = R/r$$

Petits angles:
 $\theta \text{ (rad)} = R/r$

Parallaxe



$$\begin{aligned}\tan \theta &= R/r \sim \theta \\ r &= R/\tan \theta \sim R/\theta \\ R &= 1\text{AU}\end{aligned}$$

Définition: la distance est de 1 pc si la parallaxe est de 1 seconde

Parallaxe: questions

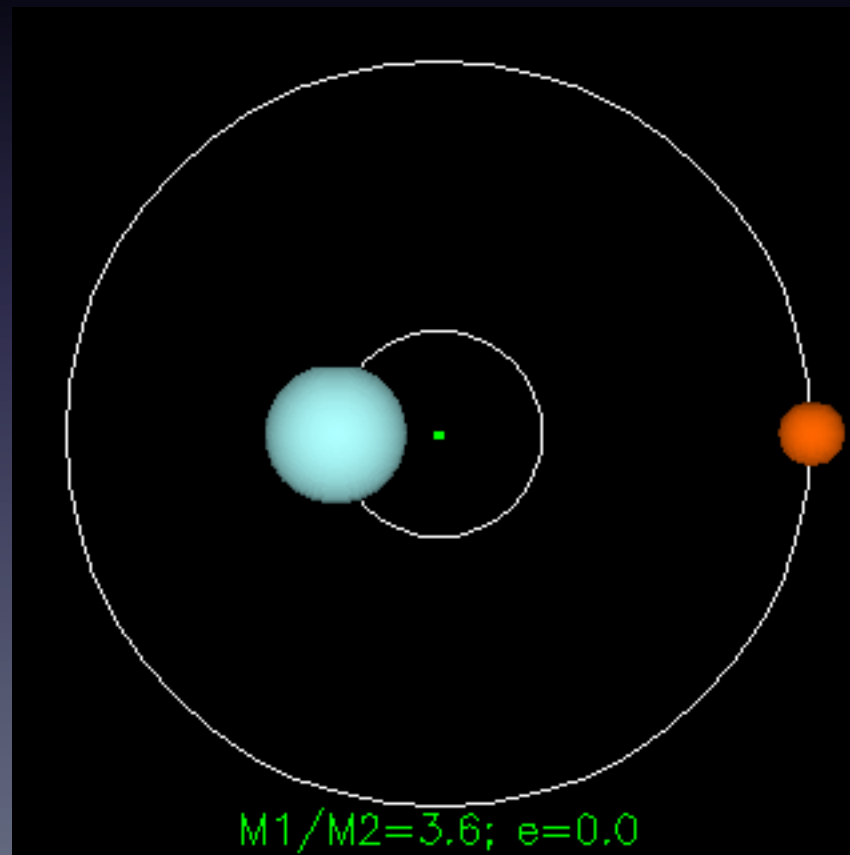
- Une planète, située a 1 UA de son étoile se trouve a 1 parsec (pc) . Quelle est la séparation angulaire entre l'étoile et la planète?
- Exprimez un parsec en UA
- L'étoile la plus proche a une parallaxe de 0.76 arcsec . Quelle est sa distance en parsecs?

Parallaxe: questions

- Une planète, située a 1 UA de son étoile se trouve a 1 parsec (pc). Quelle est la séparation angulaire entre l'étoile et la planète? (1 arcsec)
- Exprimez un parsec en UA ($1\text{pc}=1/\tan(1\text{ arcsec}))=206265\text{ ua}$)
- L'étoile la plus proche a une parallaxe de 0.76 arcsec. Quelle est sa distance en parsecs? ($D=1/\theta=1.3\text{pc}$)

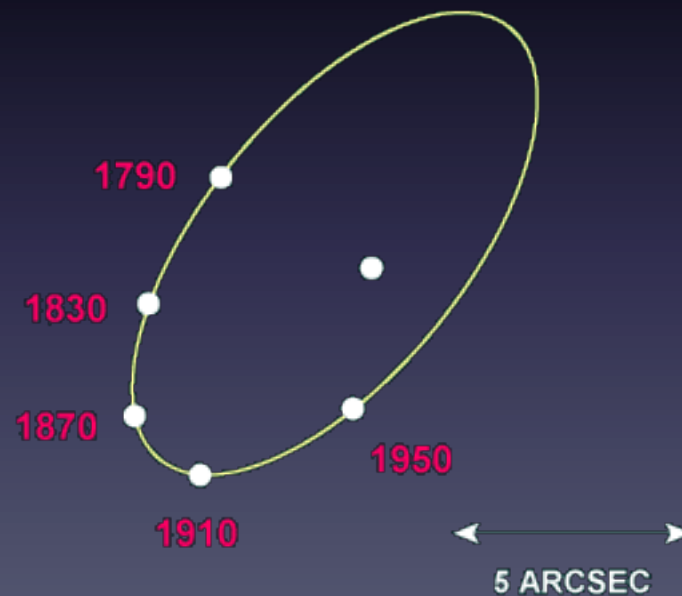
Etoiles binaires

- Deux étoiles gravitant l'une autour de l'autre et donc liées physiquement



Binaires visuelles

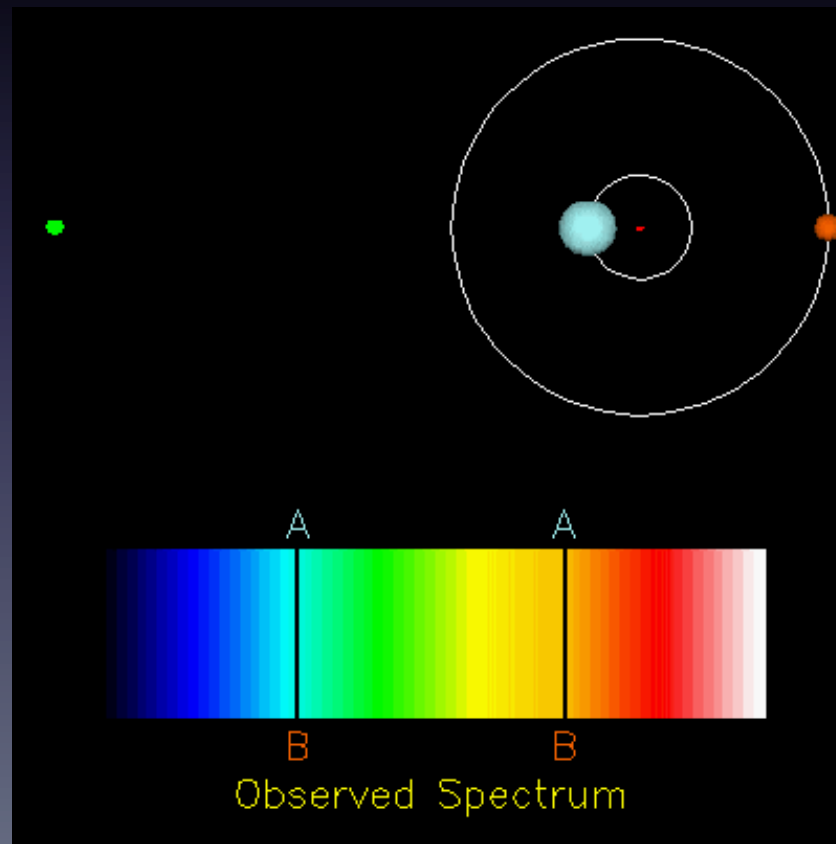
- Les deux étoiles sont observables séparément à travers un télescope



Le système binaire de l'étoile Castor

Binaires spectroscopiques

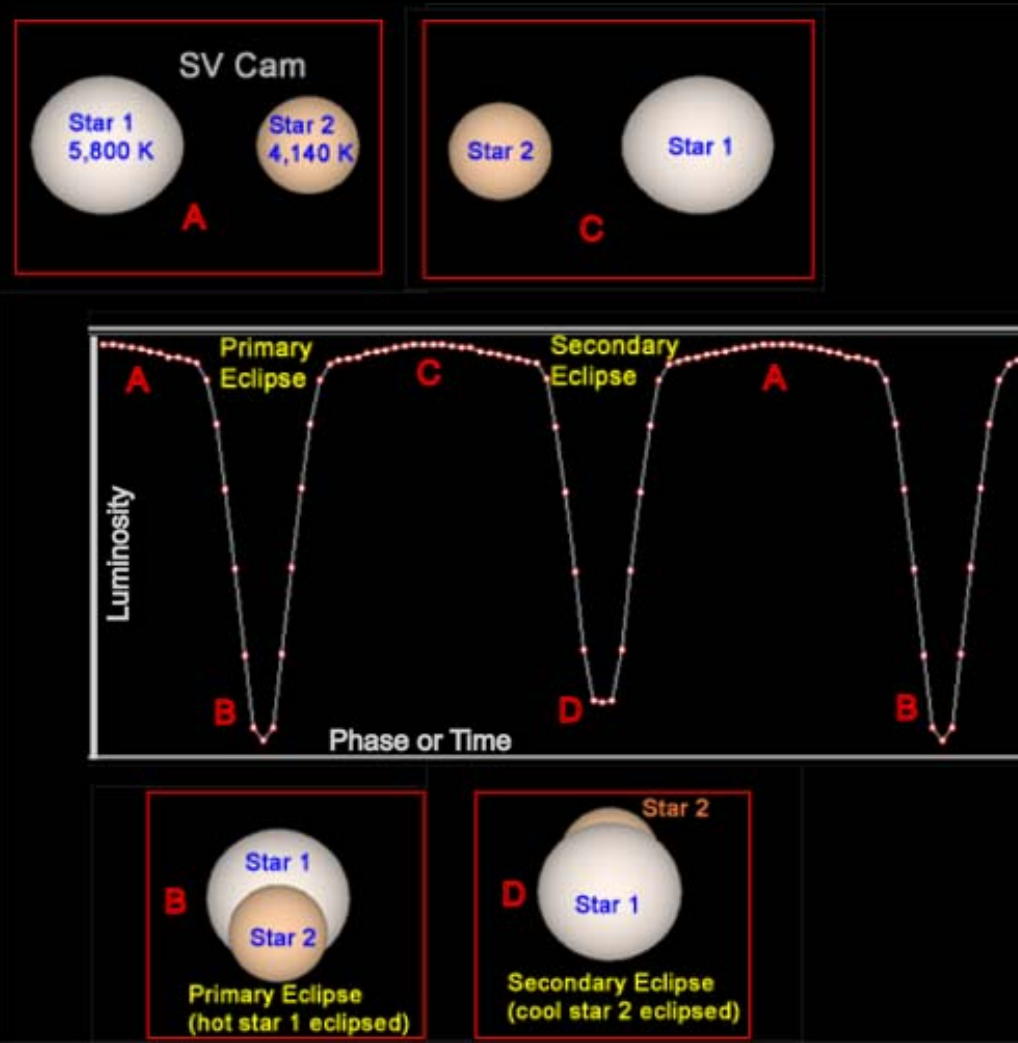
- Les raies du spectre d'une des composantes se déplacent périodiquement (effet doppler)



Binaires photométriques (binaires à éclipse)

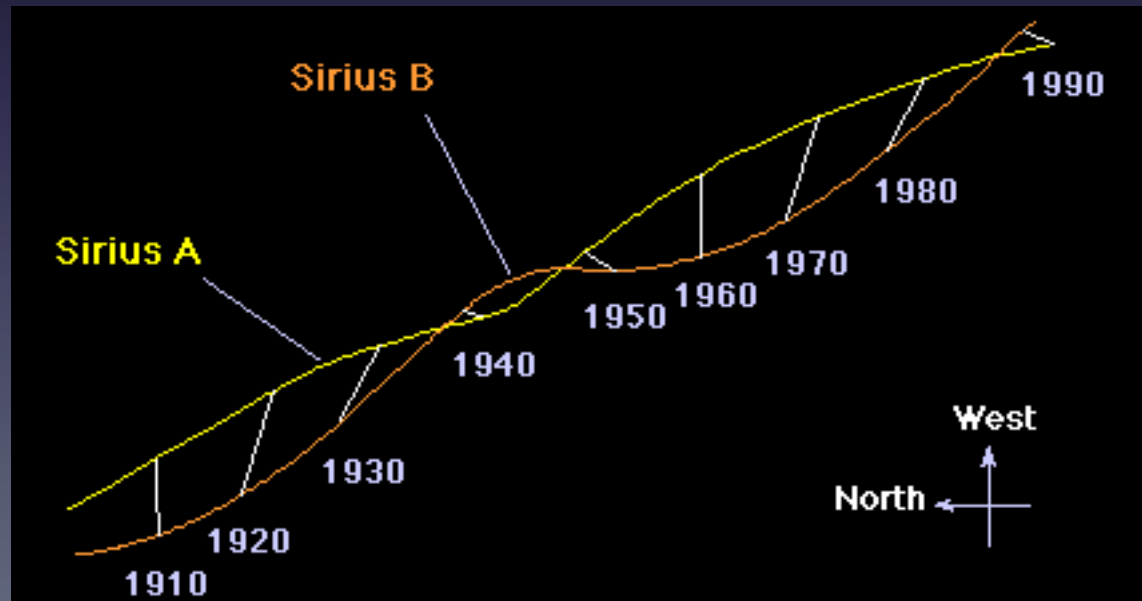
- La lumière produite est composée

éclipses



Binaires astrométriques

- La position de l'étoile est perturbée de manière détectable par la présence d'un compagnon trop peu lumineux pour être vu.



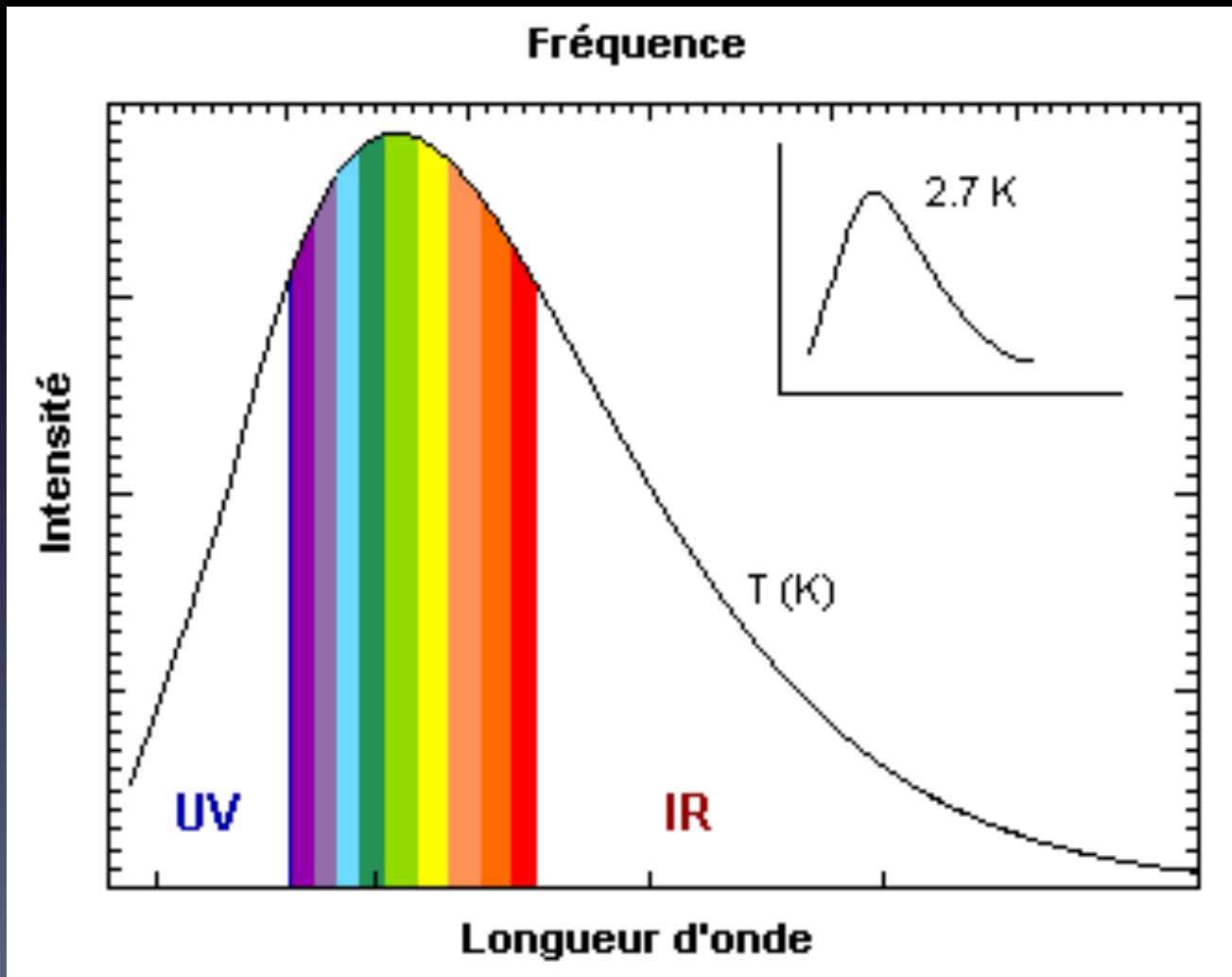
Binaires et propriétés des étoiles

- Seul moyen direct de mesurer la masse d'étoiles (lois de Kepler)
- Binaire à éclipses donnent le rayon de l'étoile

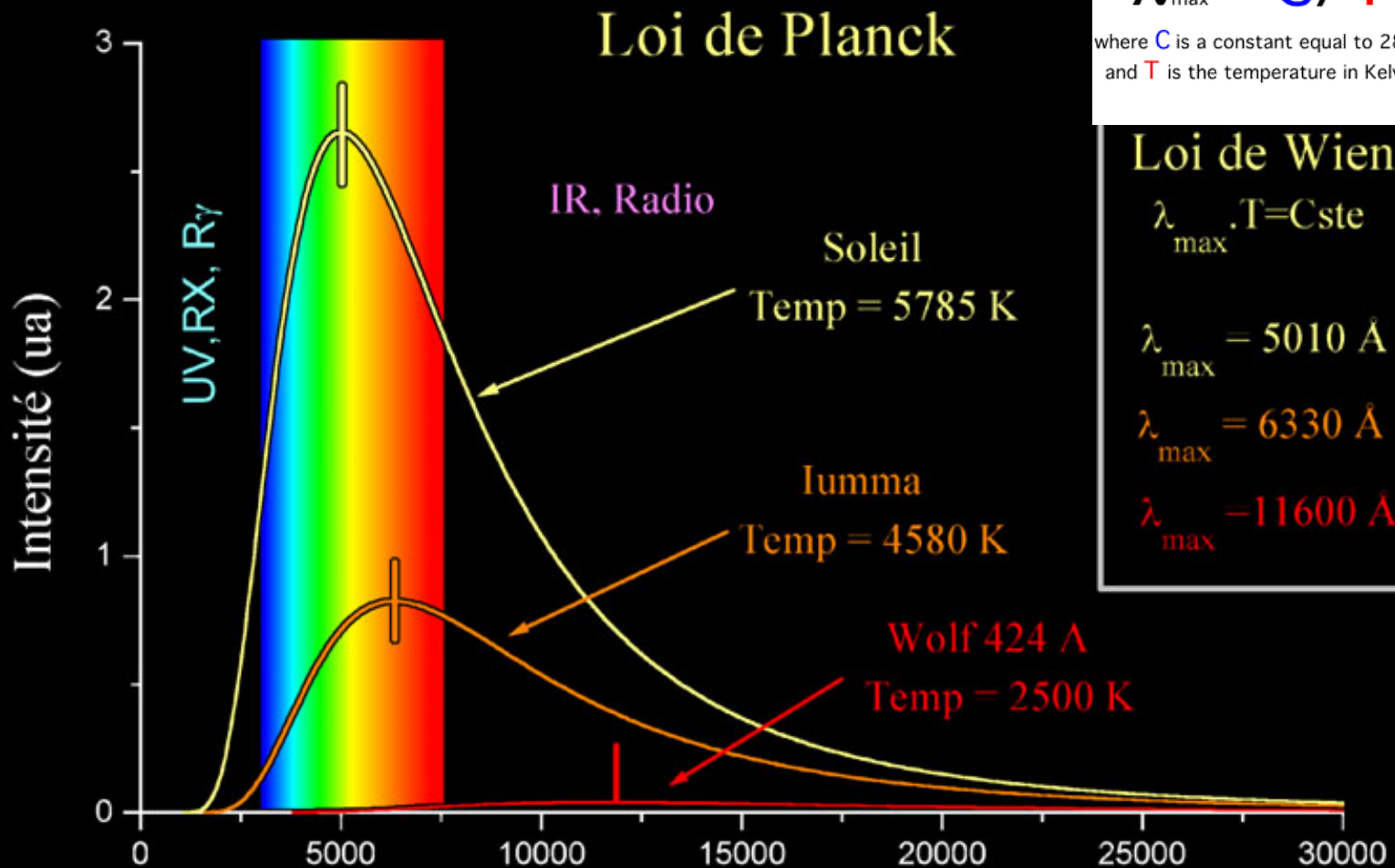
Luminosité d'une étoile

- Le gaz à la surface de l'étoile peut être considéré, en première approximation, comme un corps noir. Un corps noir est un corps idéal qui réémet tout le rayonnement qu'il reçoit sous forme d'un spectre continu (qui suit la loi de Planck) avec un maximum à une longueur d'onde λ_m

Luminosité d'une étoile



Température et couleur



Températures et couleurs

- Les étoiles chaudes apparaissent bleues et les froides rouges: astronomie $\neq$ plomberie 😊



Flux émis par une étoile

- Flux émis par la surface d'un corps noir, loi de Stefan-Boltzmann: $F = \sigma T^4$
- Luminosité de l'étoile $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$
- Déterminé par son rayon et sa température

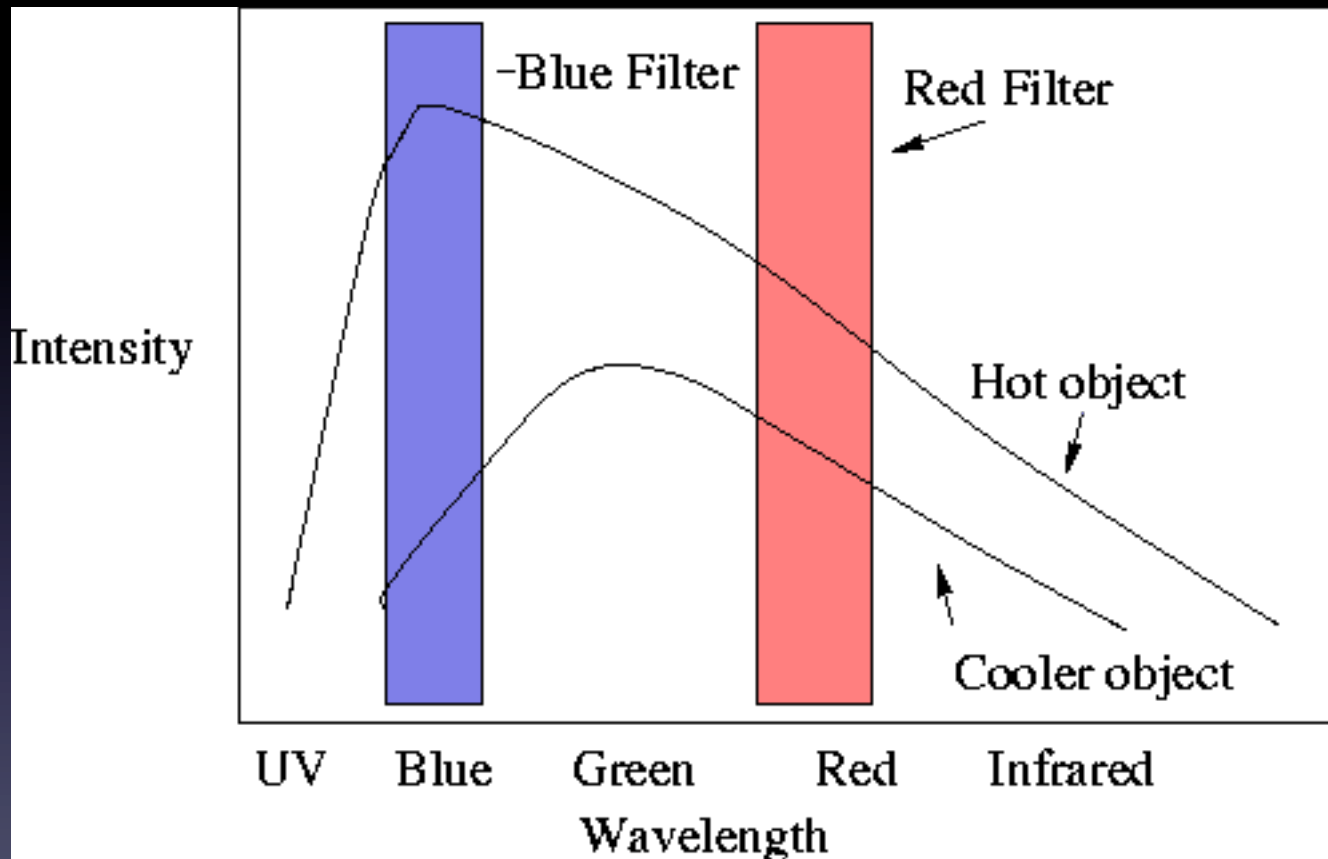
Luminosité apparent et absolue

- Luminosité apparente d'une étoile: puissance du rayonnement émis par cette étoile qui arrive à l'observateur. (dépend de la luminosité absolue et de la distance)

Magnitudes

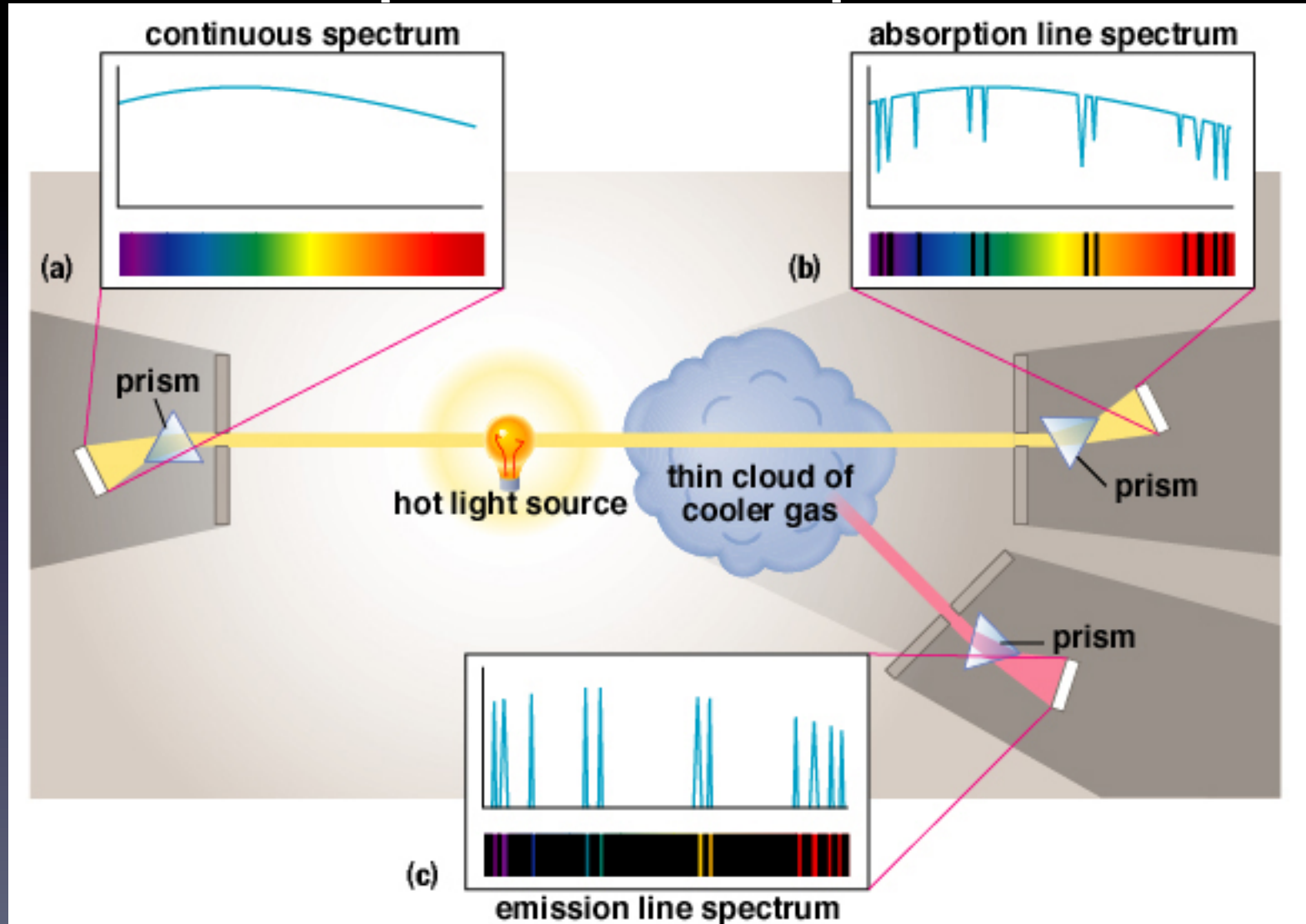
- Définies d'abord par les grecs (1ere magnitude étoile brillantes, 6 eme magnitude étoiles plus faibles)
- $m = -2.5 \log F + m_0$ (m_0 constante)
- Magnitude absolue: magnitude qu'aurait l'étoile si elle était située à 10 parsecs de la Terre.
- $M = m - 5 \log(D) + 5$
- Permet de déterminer la distance!

Couleurs et températures



Mesures à deux longueurs d'onde: estimation de la température

Spectroscopy



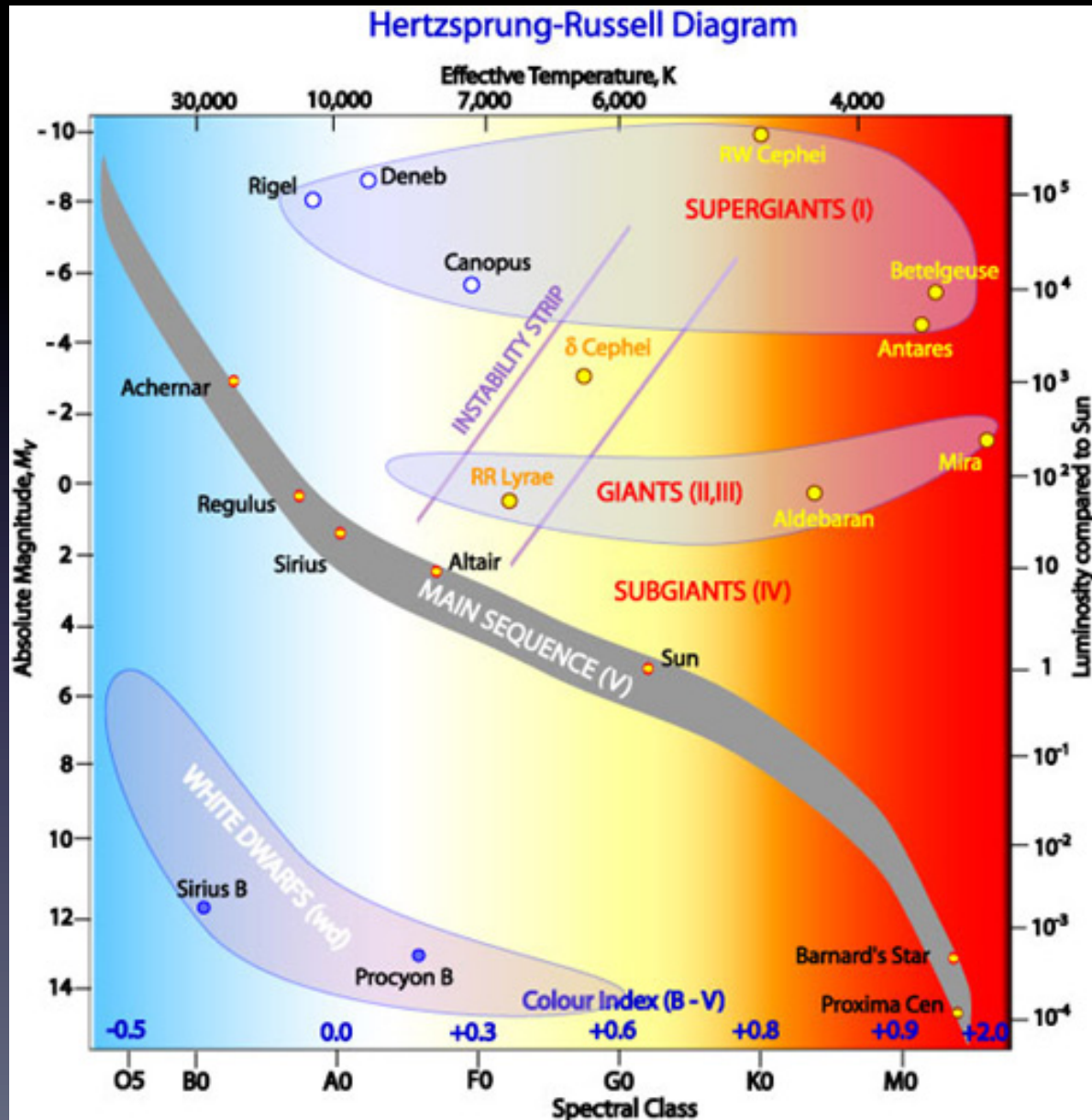
Spectroscopie

L'analyse du spectre des étoiles permet de connaître un certain nombre de leurs propriétés :

- leur température
- leur vitesse radiale par effet Doppler
- leur vitesse de rotation
- leur composition chimique
- la gravité de surface
- les propriétés du champ magnétique...

Une image vaut 1000 mots, un spectre vaut 1000 images!

Diagramme Hertzsprung-Russell



Les étoiles

Table 19-1 Approximate Main-Sequence Lifetimes

Mass ($M_{\odot}$)	Surface temperature (K)	Spectral class	Luminosity ($L_{\odot}$)	Main-sequence lifetime (10^6 years)
25	35,000	O	80,000	4
15	30,000	B	10,000	15
3	11,000	A	60	800
1.5	7000	F	5	4500
1.0	6000	G	1	12,000
0.75	5000	K	0.5	25,000
0.50	4000	M	0.03	700,000

The main-sequence lifetimes were estimated using the relationship $t \propto 1/M^{2.5}$ (see Box 19-2).

- Oh Be A Fine Girl Kiss Me
- Only Boys Accepting Feminism Get Kissed Meaningfully
- Types spectraux L et T
- Oh Be A Fine Girl Kiss My Lips Tenderly

Pourquoi les étoiles brillent?

- Parce qu'elles sont chaudes!
- Pourquoi sont-elles chaudes?
- Parce que!
- Quelque chose les chauffe

Le Soleil

Fonctionnement :

Pression et température si élevées au centre que la fusion nucléaire est possible :

$4 \text{ H} \rightarrow \text{He} + \text{énergie}$

600 millions de tonnes de H sont brûlées par seconde !

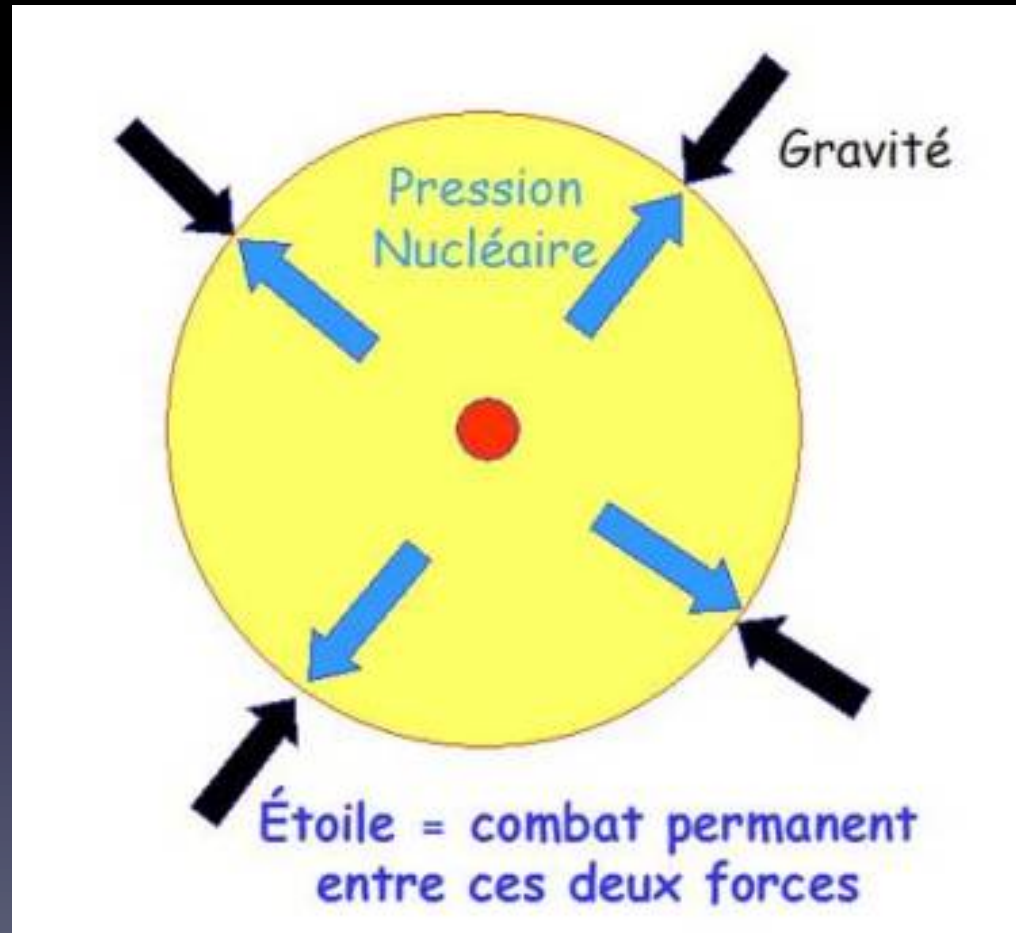
(= 10 milliards de bombes H)

$E = m c^2$: 4 millions de tonnes perdues par seconde.

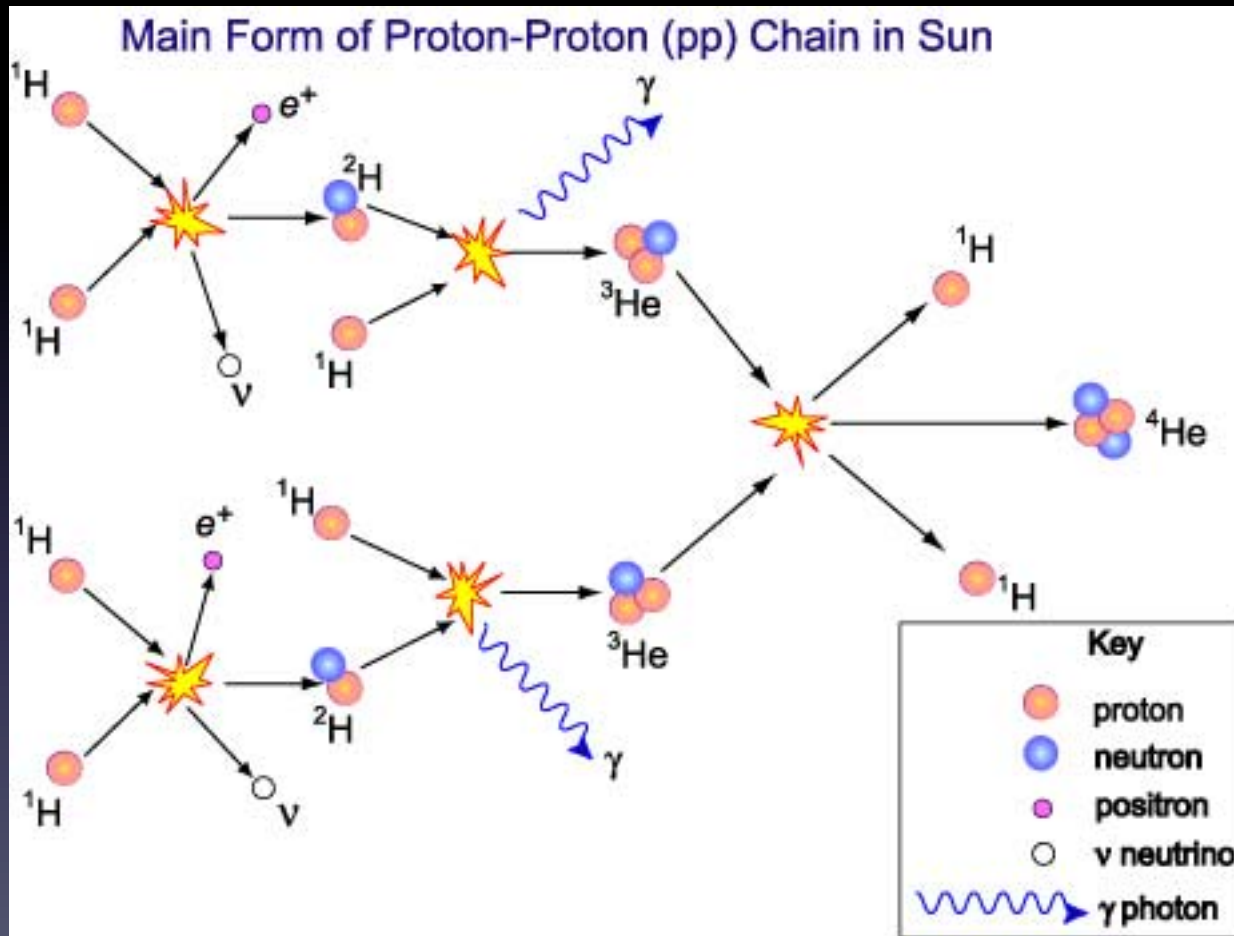
Puis, $4 \text{ He} \rightarrow \text{O}$, synthèse de C, N, O.

Puis synthèse d'autres éléments lourds, toute la table de Mendeleïev jusqu'au Fer.

L'équilibre hydrostatique

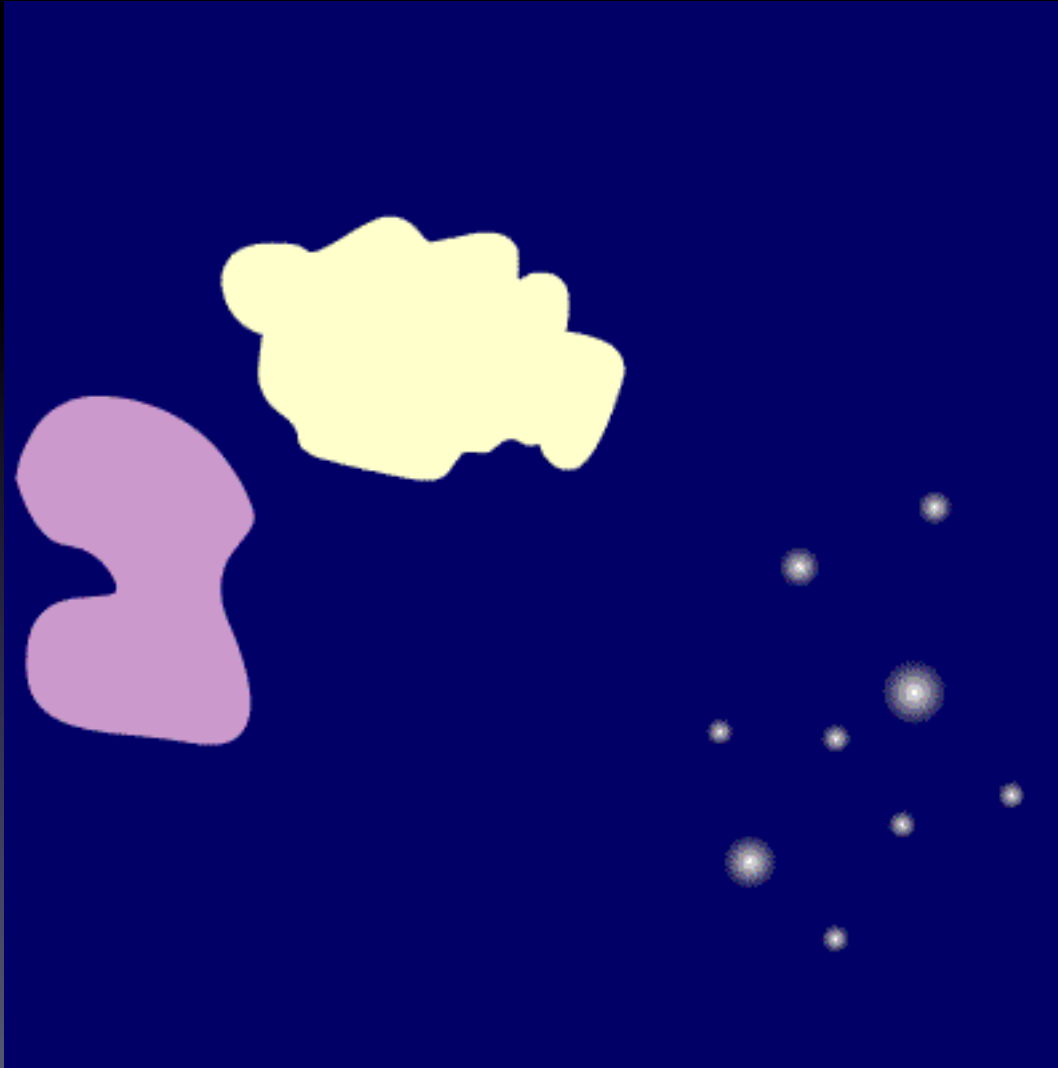


Réactions nucléaires



$4\text{ H} \rightarrow \text{He} + \text{énergie}$ (Soleil, 14.7 millions de degrés,
réaction commence à 4 millions de degrés)

Formation stellaire



Fragmentation puis effondrement gravitationnel de nuages moléculaires (gaz + poussière)

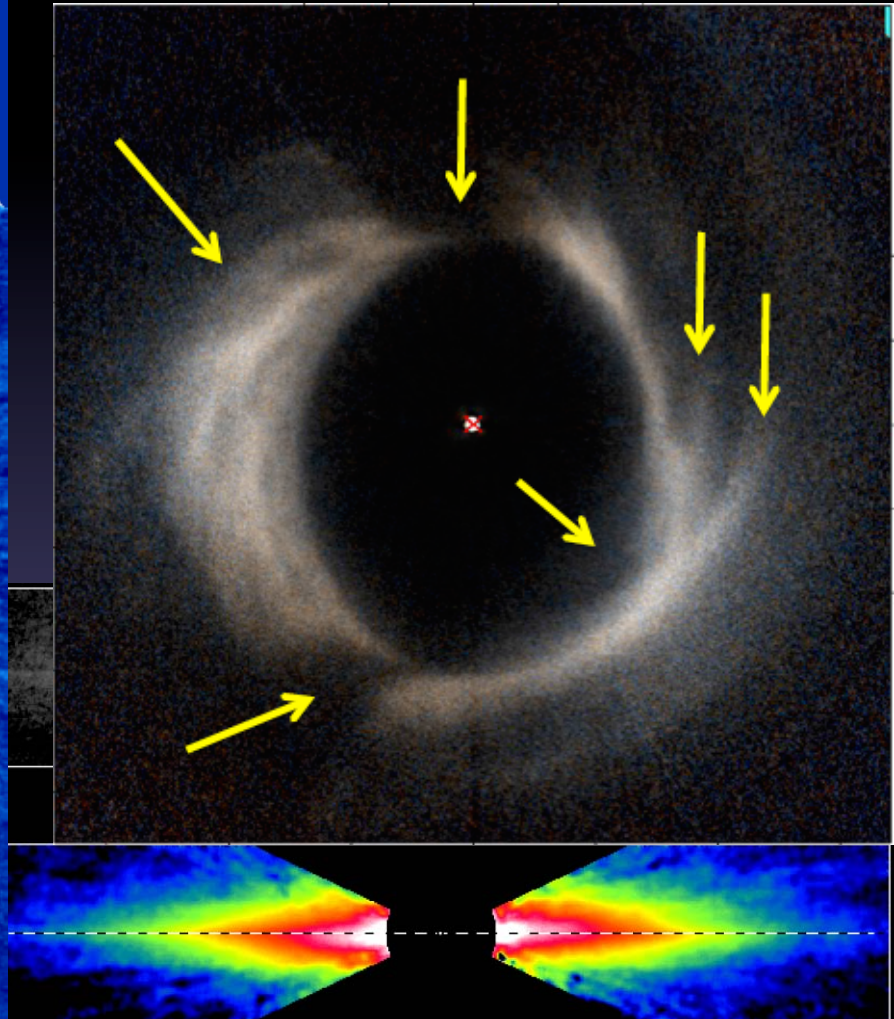
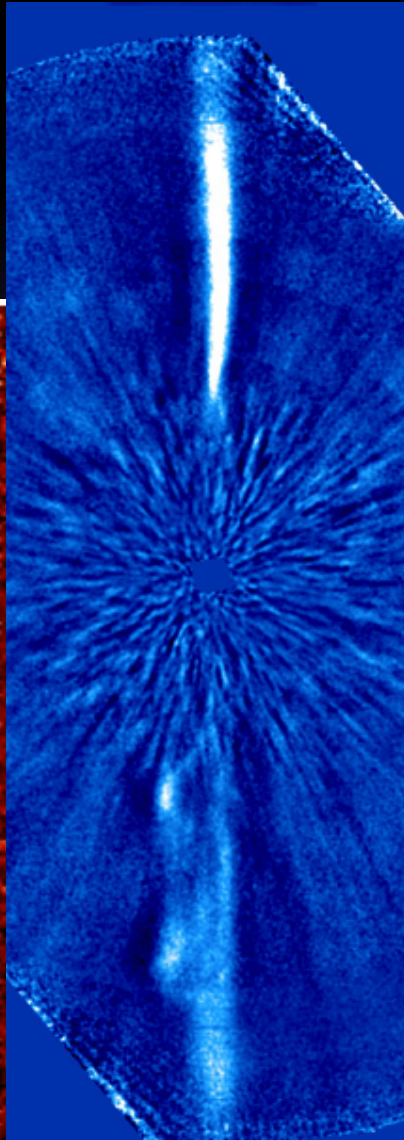
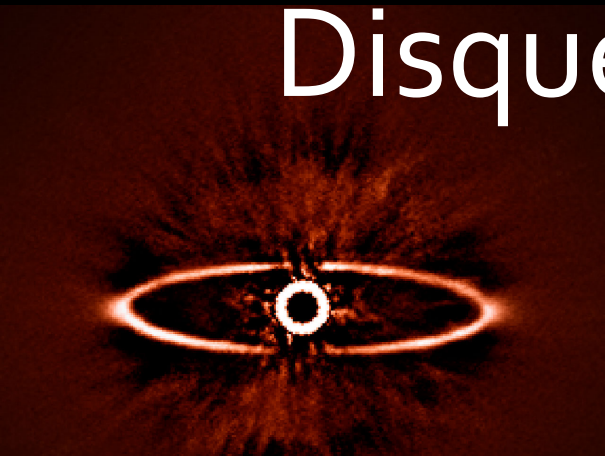
Naissance des étoiles et planètes



Le cône et l'aigle



Disques protoplanétaires

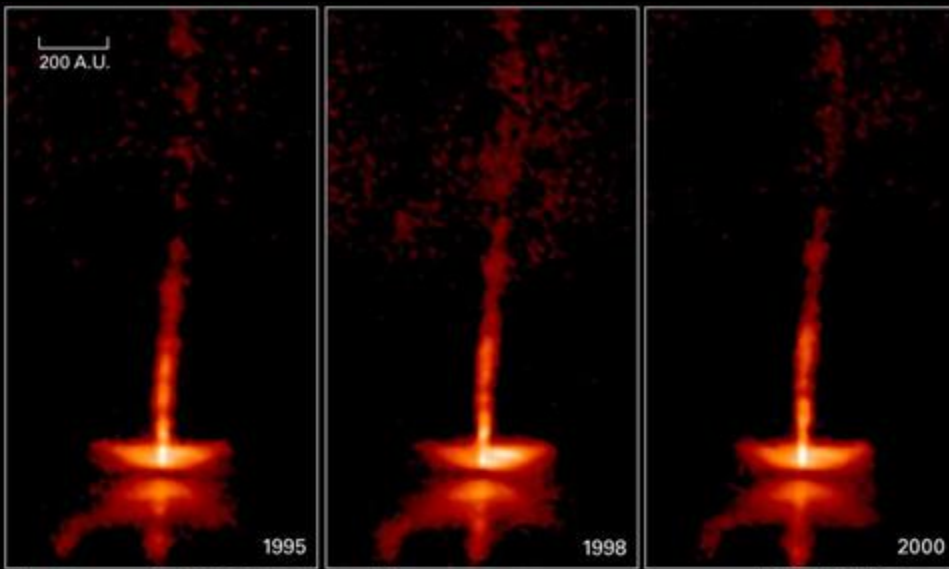


Warped Disk • Beta Pictoris

HST • WFPC2

RC96-02 • ST ScI OPO • January 17, 1995 • C. Burrows and J. Krist (ST ScI), WFPC2 IDT, NASA

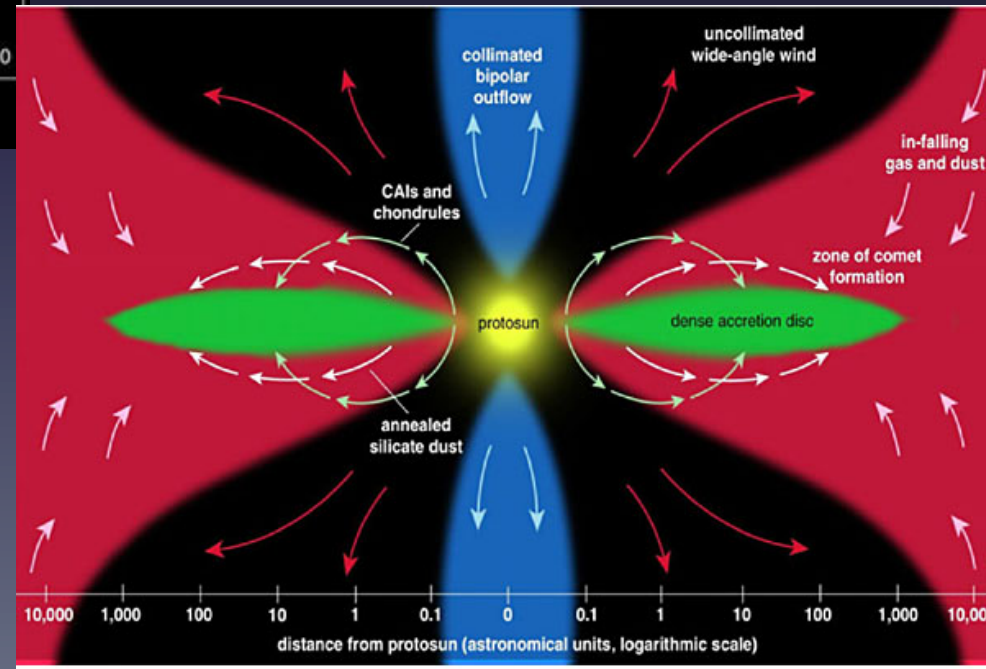
Disques protoplanétaires et jets



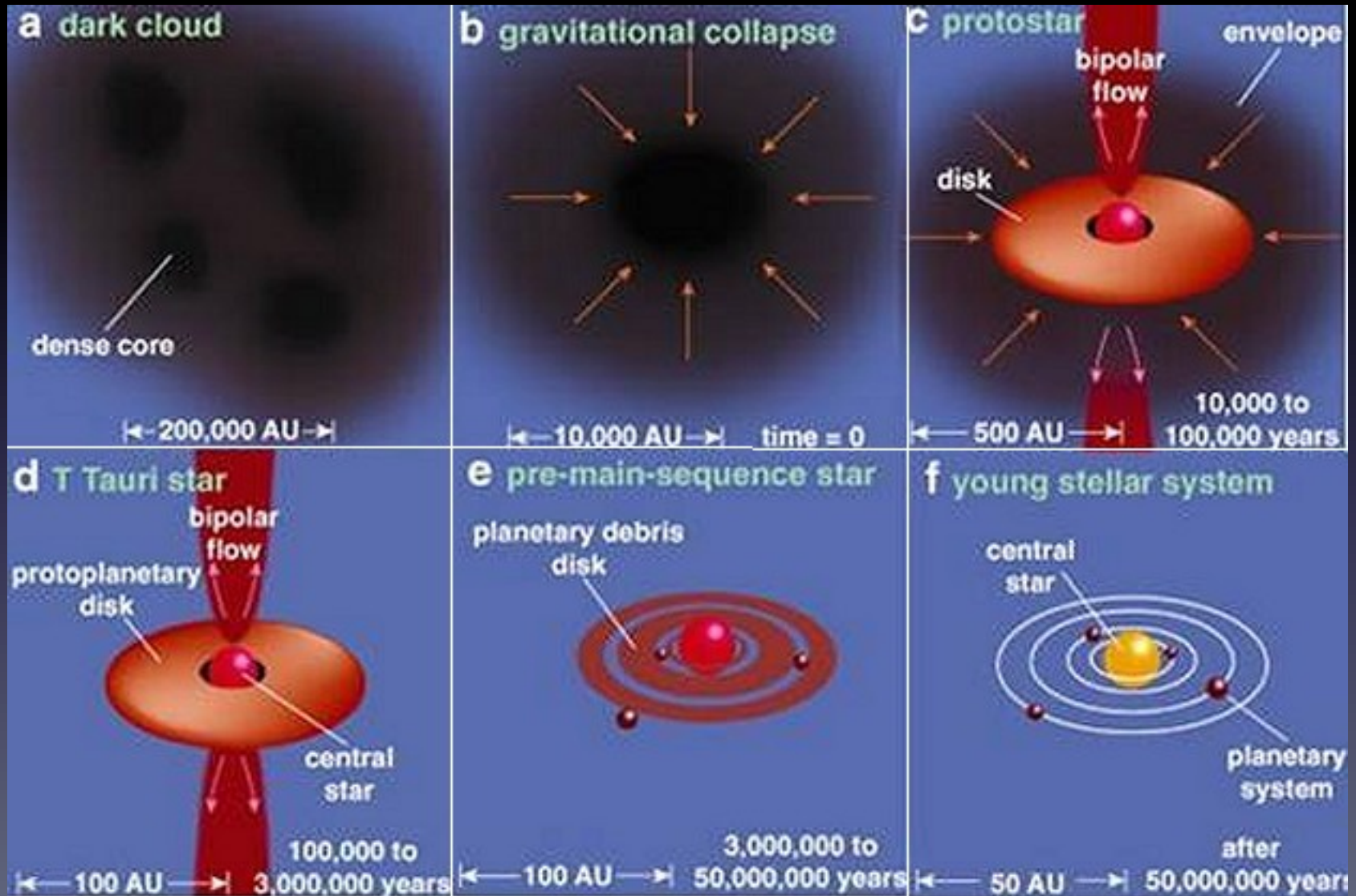
The Dynamic HH 30 Disk and Jet

NASA and A. Watson (Instituto de Astronomía, UNAM, Mexico) • STScI-PRC00-32b

HST • WFPC2



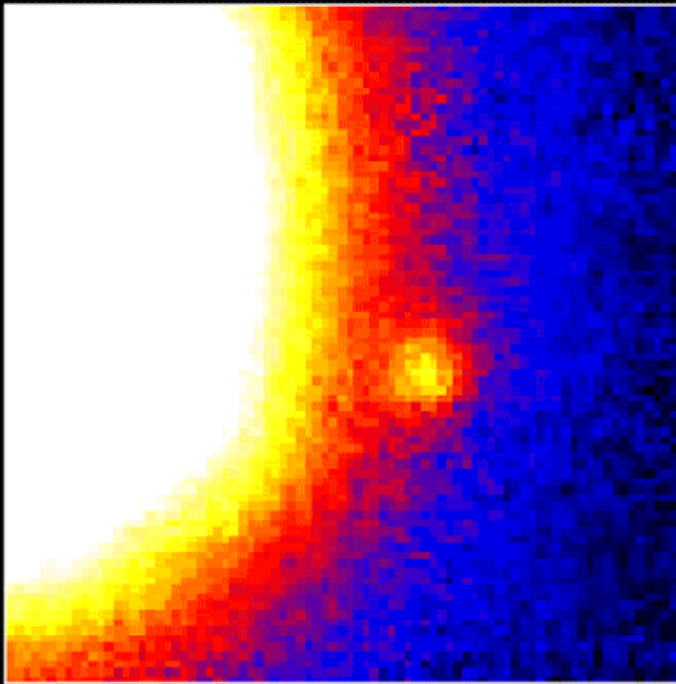
Etapes de la formation stellaire



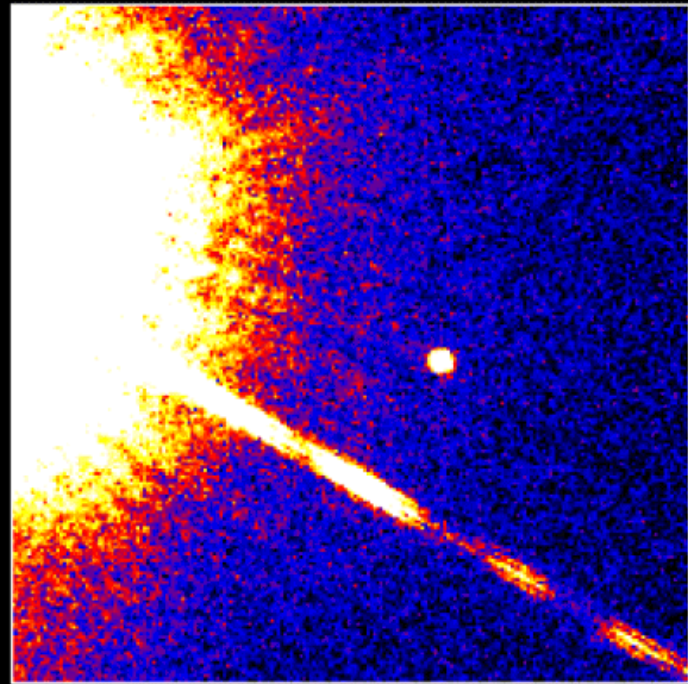
Les naines brunes

- Masse comprise entre 0.01 et 0.08 masses solaires: pas de réactions nucléaires

Brown Dwarf Gliese 229B

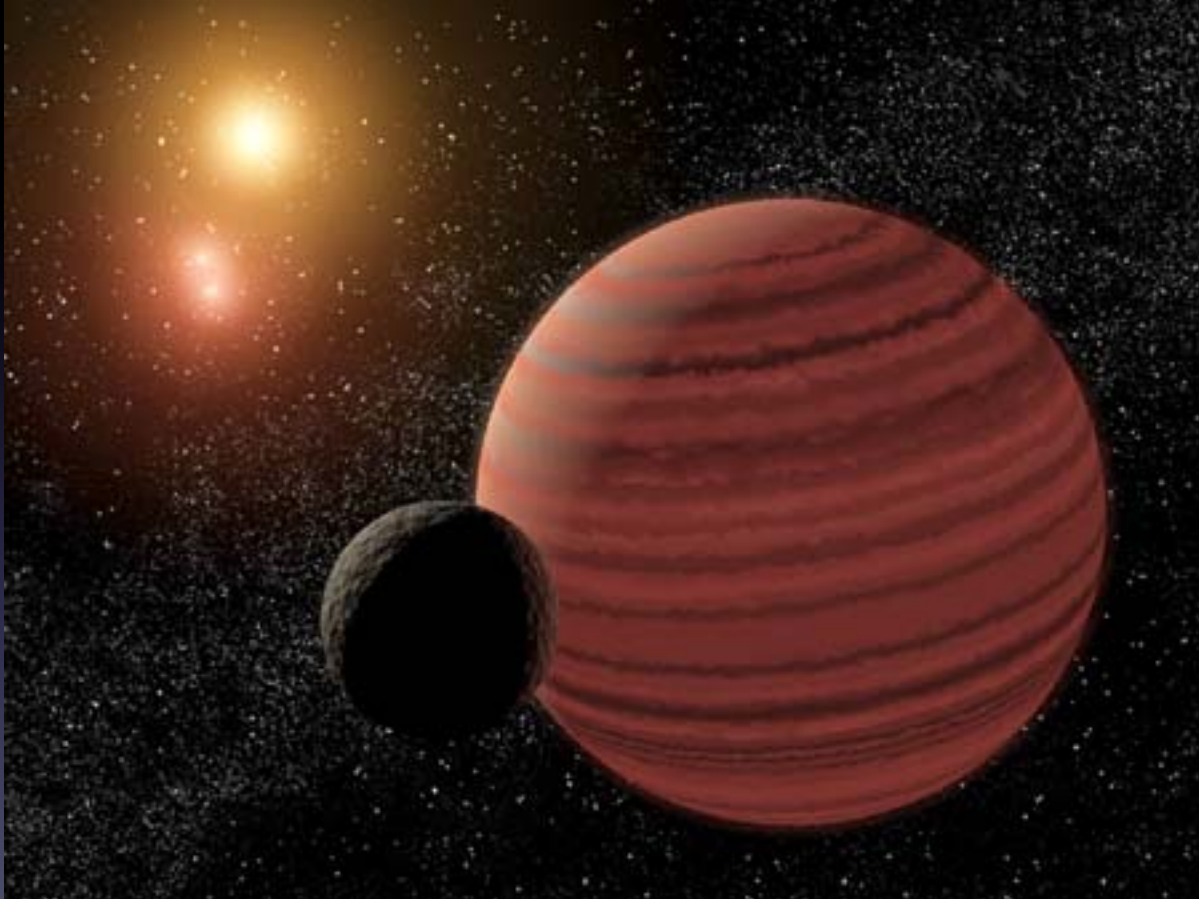


Palomar Observatory
Discovery Image
October 27, 1994



Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2
November 17, 1995

Les naines brunes

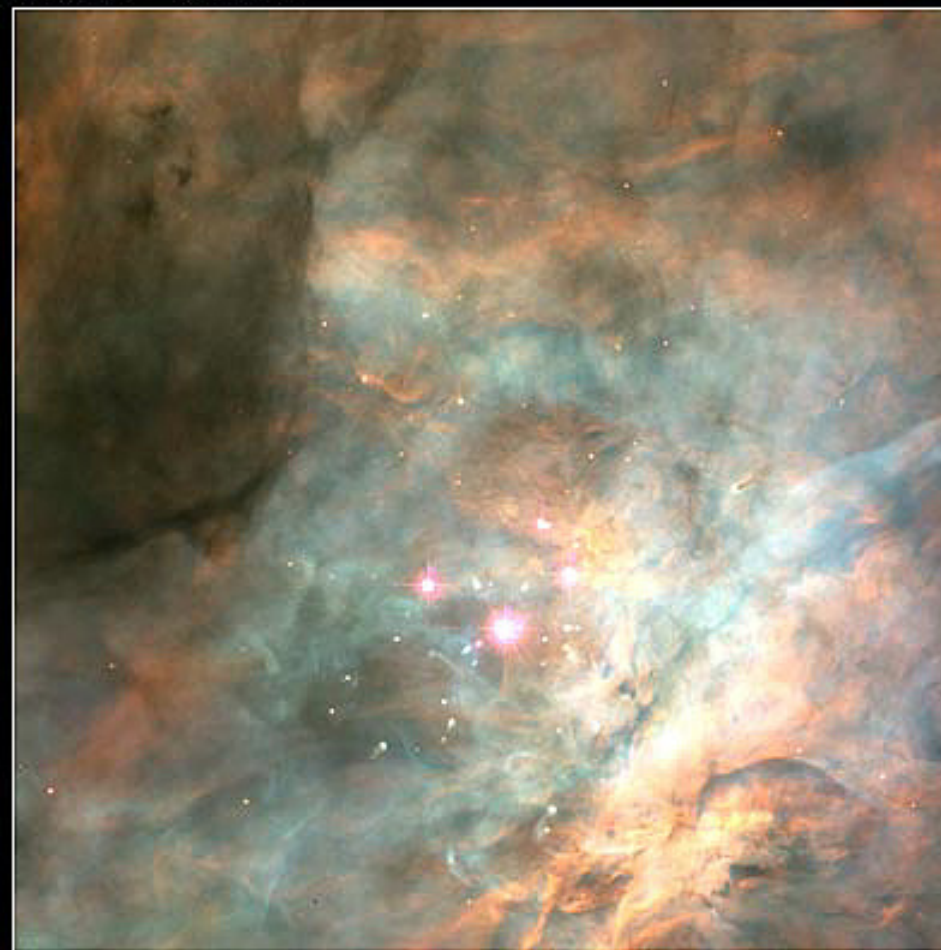


Vue d'artiste

Les naines brunes

Visible • WFPC2

Infrared • NICMOS



Trapezium CLuster • Orion Nebula

WFPC2 • Hubble Space Telescope • NICMOS

NASA and K. Luhman (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) • STScI-PRC00-19

