

Les étoiles

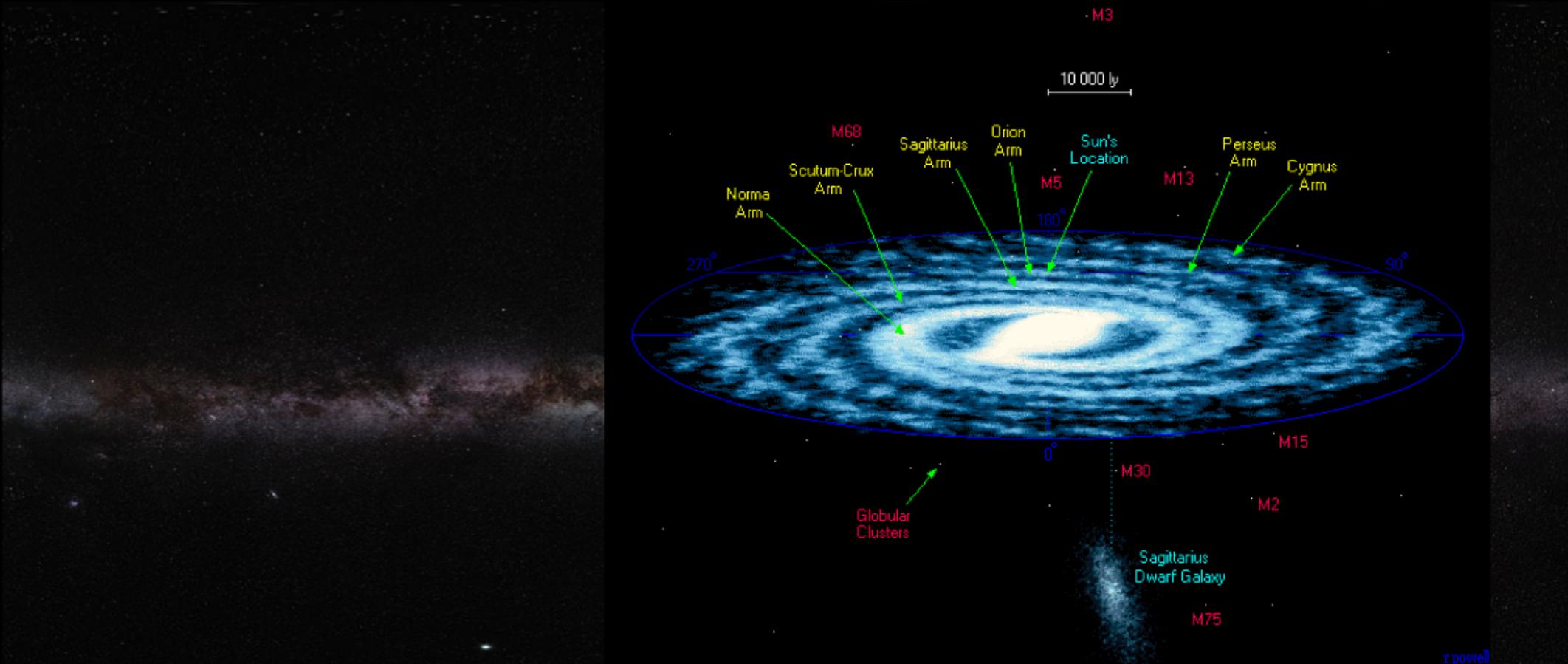
Module Recherche en physique moderne RECH 601

David Sanchez (david.sanchez@lapp.in2p3.fr)

La Voie lactée

- 100 milliards d'étoiles
- du gaz (1 particule par cm³ !)
- des poussières
- un champ magnétique
- des particules chargées très énergétiques (le rayonnement cosmique)
- un trou noir supermassif au centre
- un halo de matière noire

Le système solaire



rpowell

Le soleil

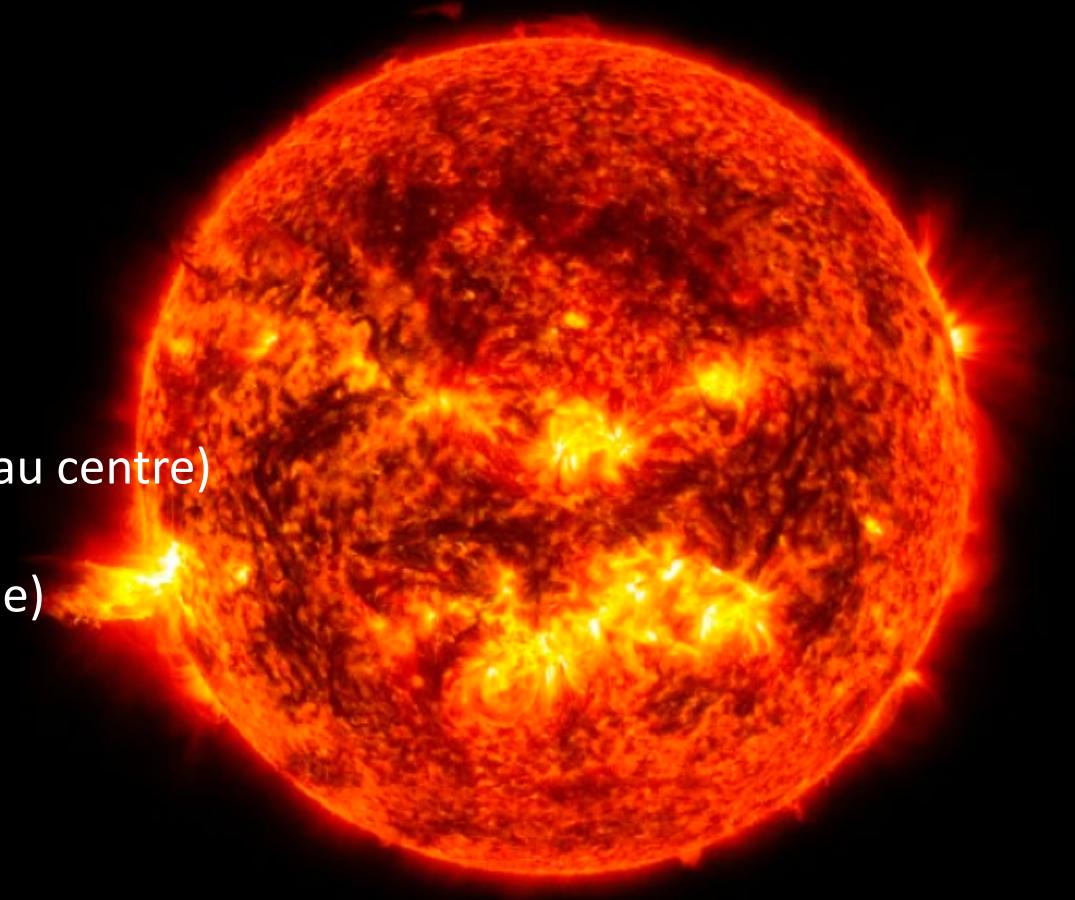
Rayon: $\sim 700\,000$ km

Masse: $\sim 2 \times 10^{30}$ kg

Age: $\sim 4,6$ milliards d'années

Température: ~ 6000 K en surface (10 millions de K au centre)

Composition chimique: 74% H ; 25 % He (% en masse)

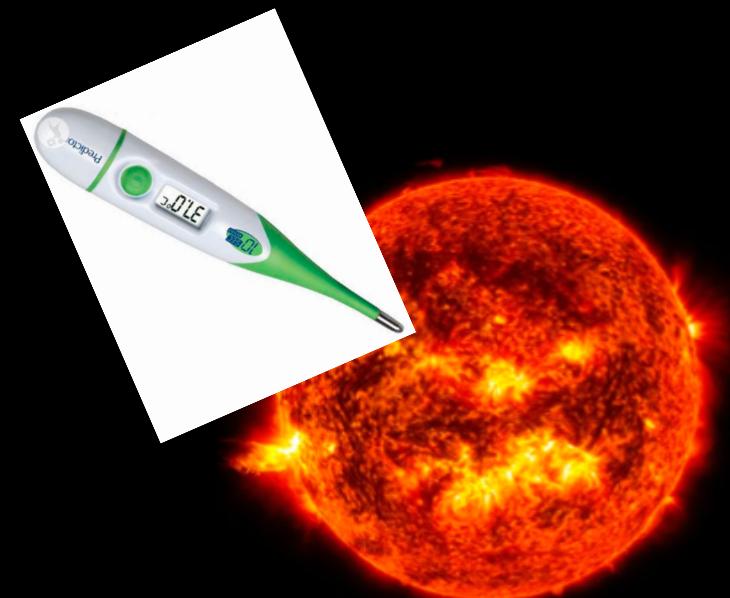
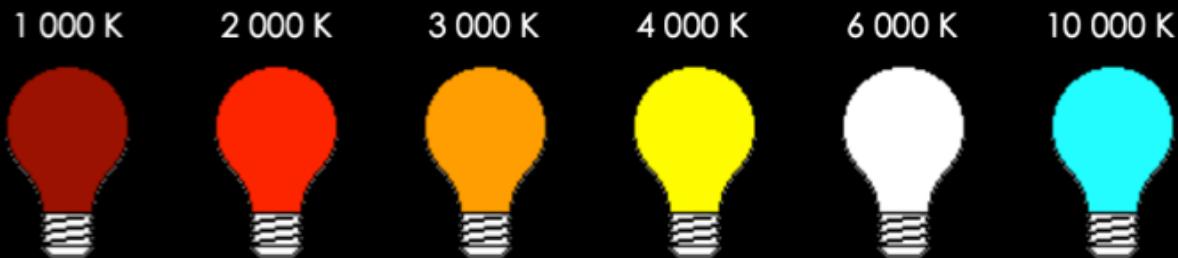


La température du soleil

La couleur du disque solaire nous donne une indication sur sa température de surface

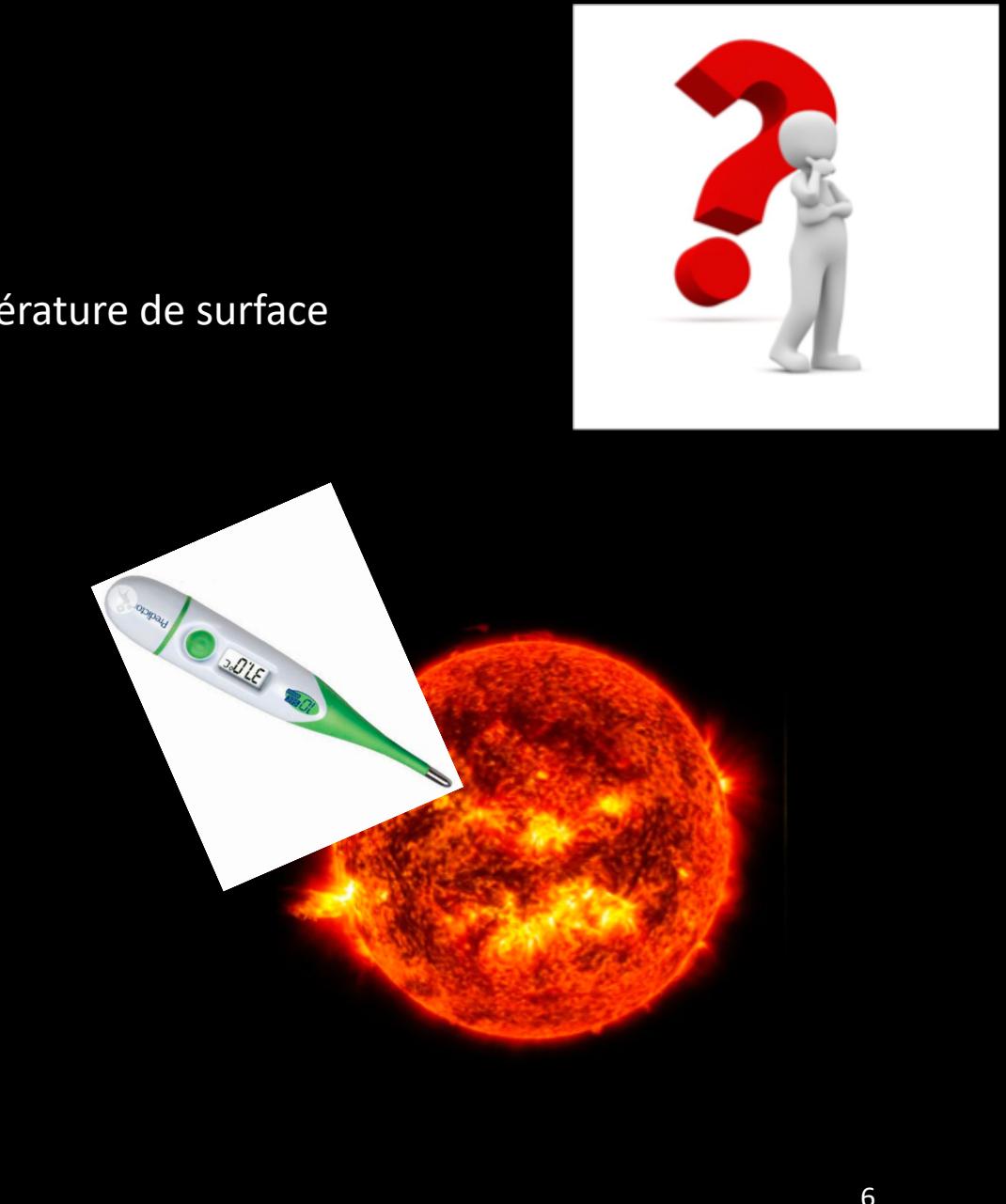
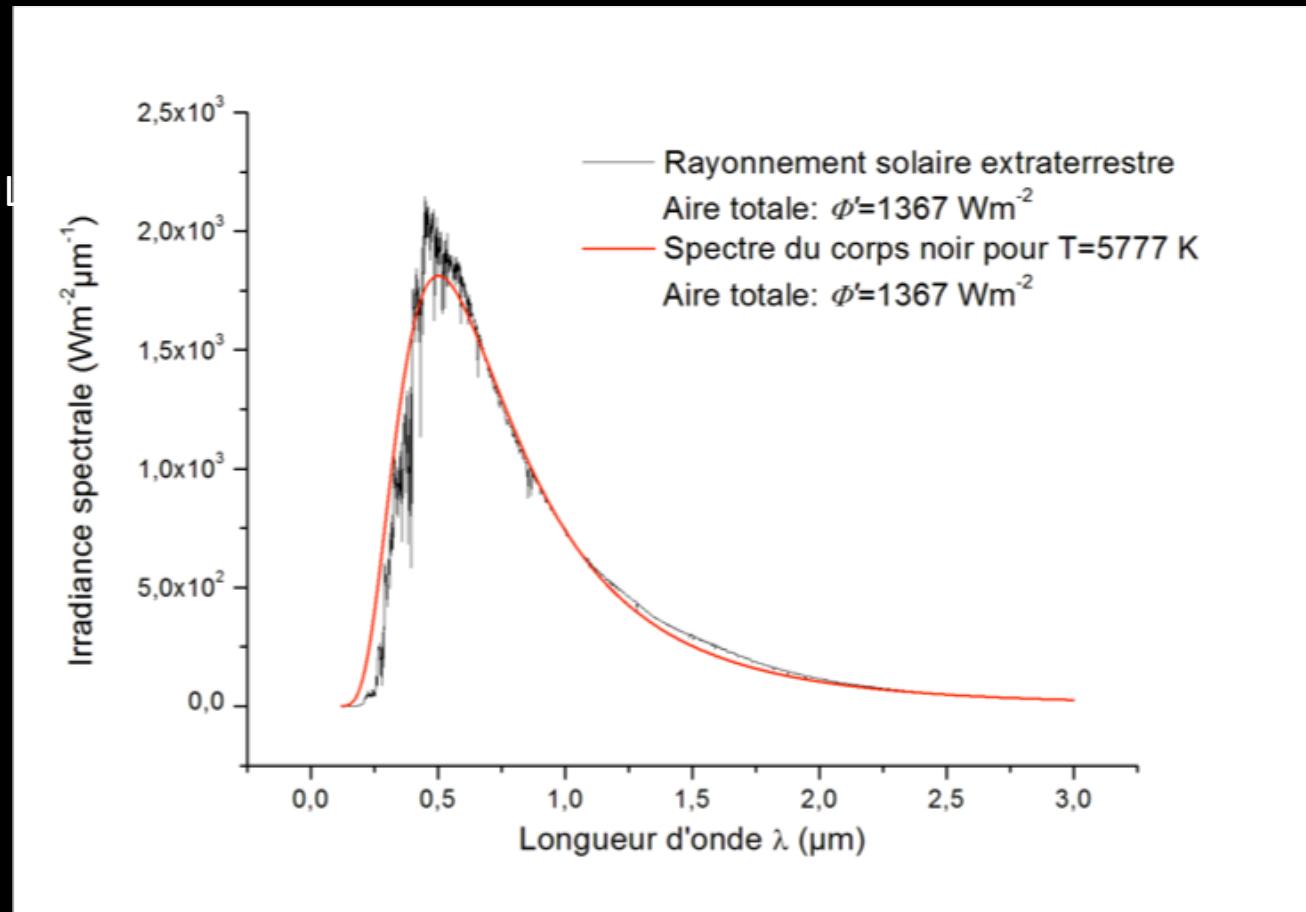


La couleur -> température. Le soleil est une corps noir



La température du soleil

La couleur du disque solaire nous donne une indication sur sa température de surface



Source d'énergie des étoiles

- Combustion chimique (XVIII^e-XIX^e siècle)
- Contraction gravitationnelle (Fin XIX^e siècle, Kelvin & Helmholtz)
 - Esperance de vie : ~ 30 millions d'années pour le Soleil.

$$E = M c^2$$

- Conversion Masse-Energie
 - $M = 2 \times 10^{30}$ kg représente une énergie de : $1,8 \times 10^{47}$ J.
 - Soit 15 000 milliards d'années si on convertissait TOUTE la matière

Source d'énergie des étoiles

Années 1930



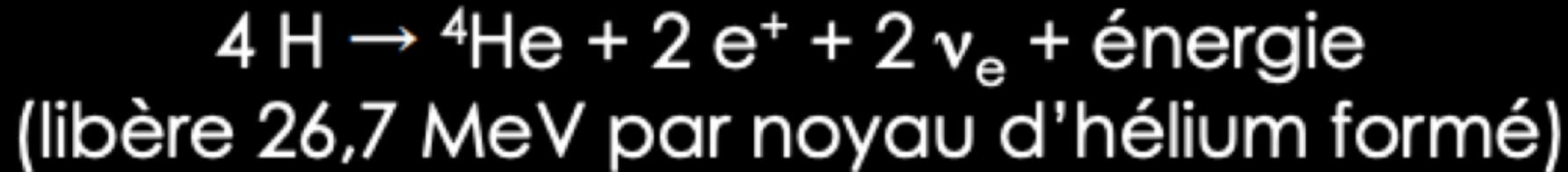
Eddington (1882-1944)



Gamow (1904-1968)

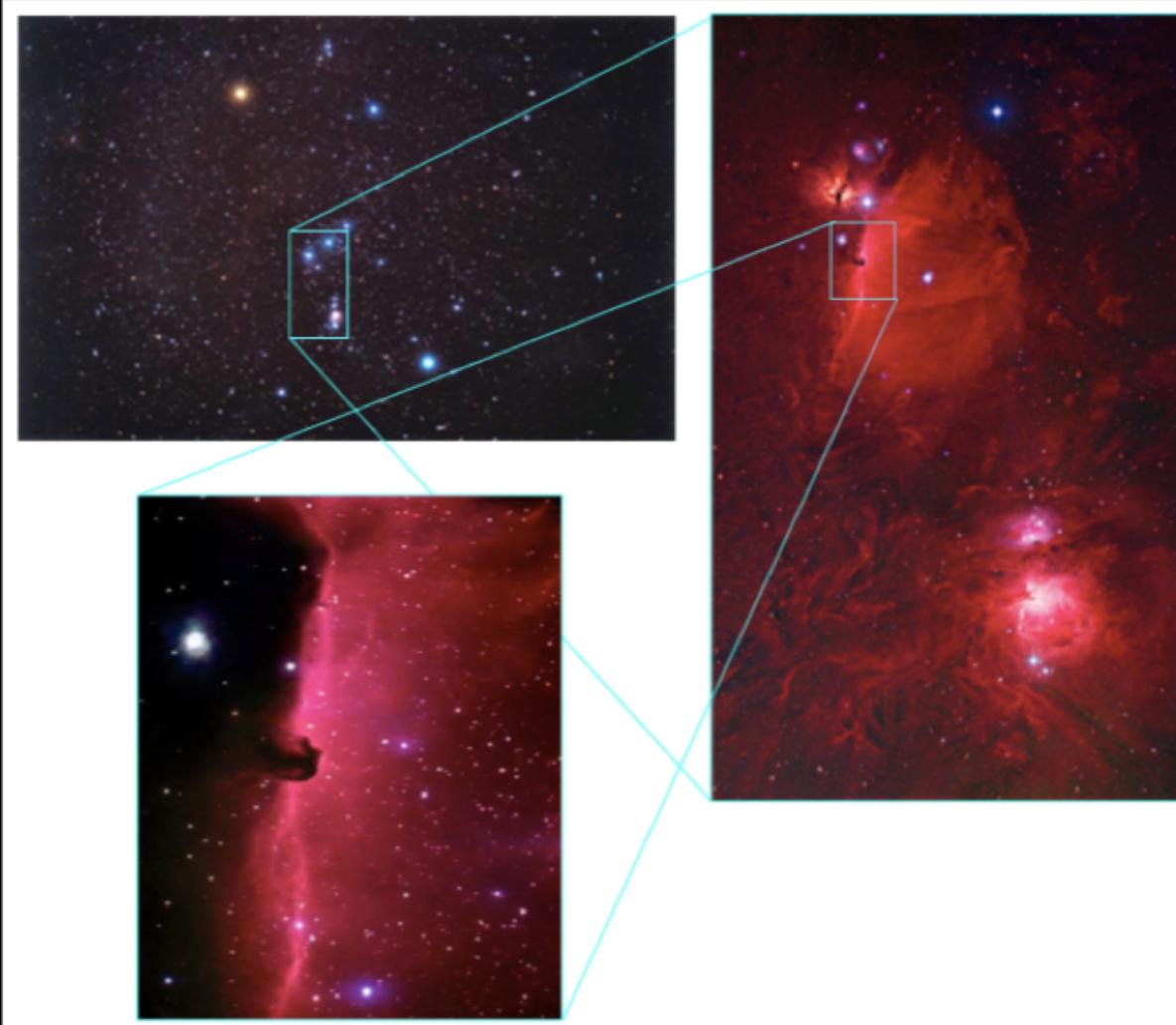


Bethe (1906-2005)

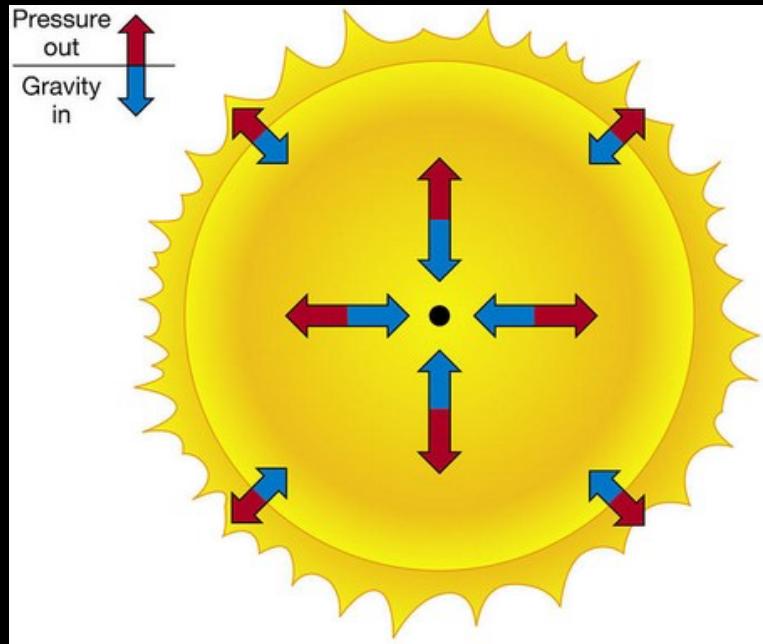


Pouponnières d'étoiles

- Présence d'autres étoiles (permet la ionisation du milieu)
- Densité assez grande (100 par m^3)
- Présence d'éléments légers (Hydrogène)



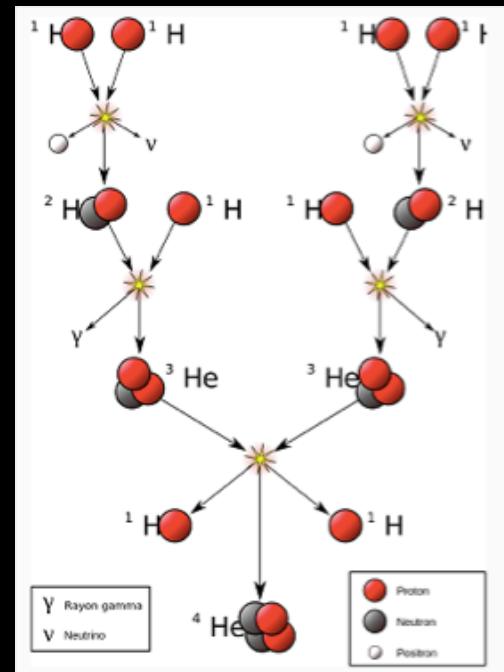
Auto-régulation



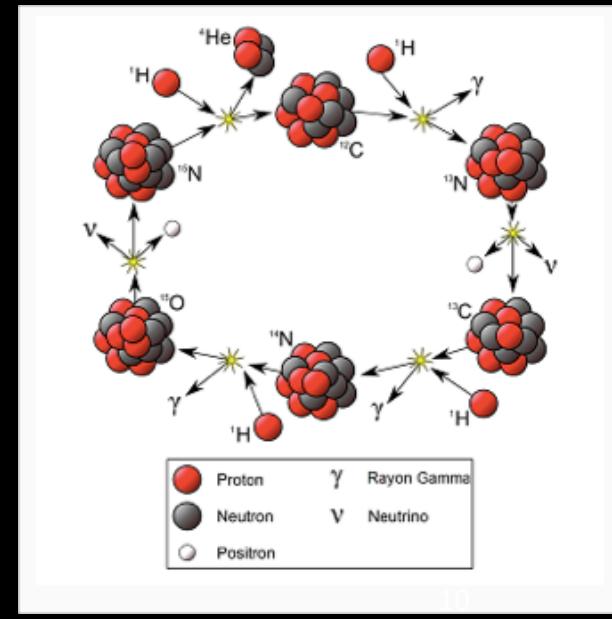
Equilibre Hydrostatique: Force gravitationnelle
= Force de pression dues à des réactions de
fusions nucléaires

2 cycles de fusion de réactions nucléaires

Pour étoile $< 1.2 M_{\text{solaire}}$,
chaîne proton-proton

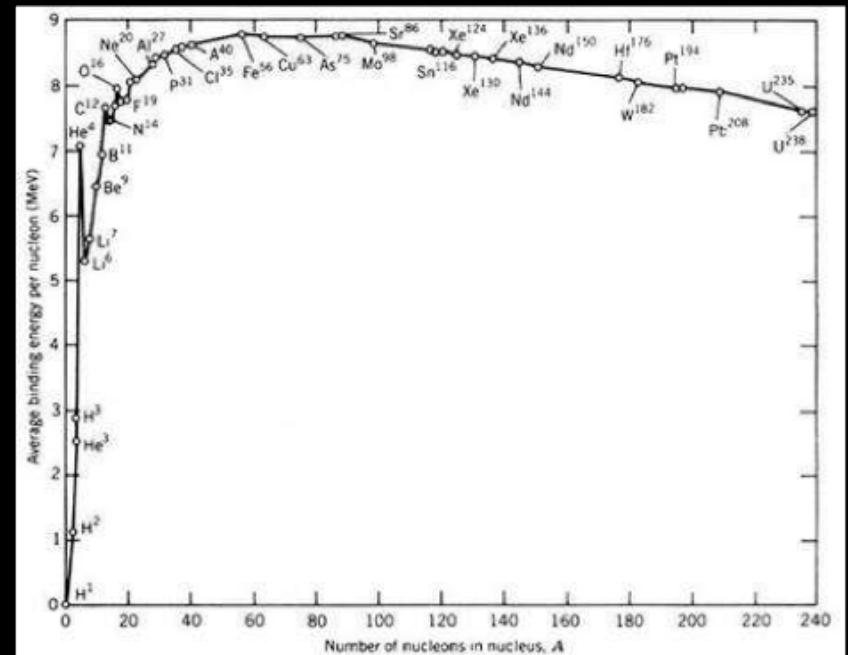


Les autres, cycle carbone-azote-oxygène



Vie d'une étoile est déterminée par sa masse

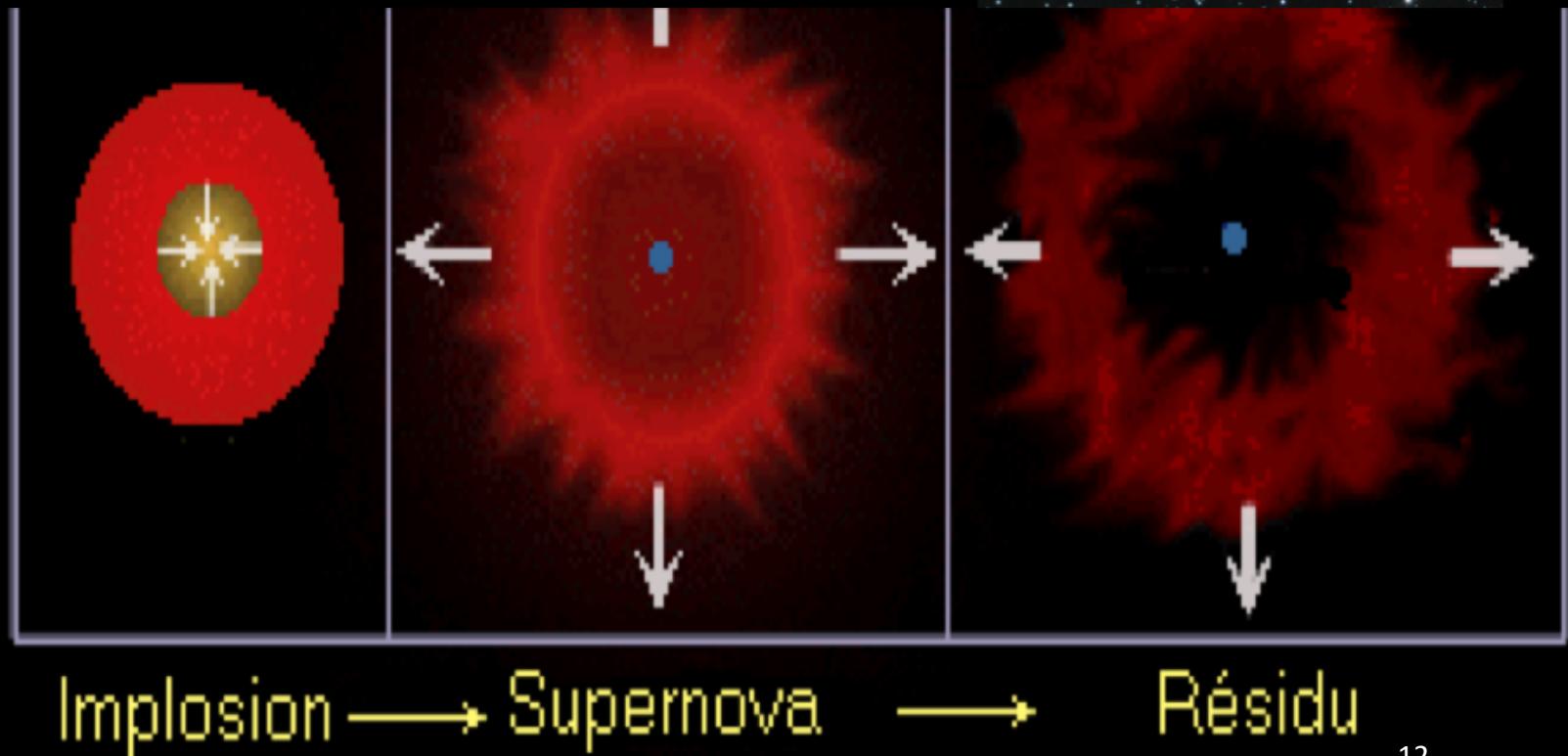
- $\sim 0,8$ et 8 Msoleil
 - Fusion H, He puis He en C et O (géante rouge)
- ~ 8 et ~ 9 Msoleil
 - Fusion C en Ne et Mg
- Au dessus : Fe au dessus, le processus ne produit plus d'énergie
- Éléments plus lourd \rightarrow créés durant les explosions



Mort d'une étoile

Les novae

- Quand ? Lorsqu'il n'y a plus assez de d'hydrogène à brûler.
- Comment ? Explosion de l'étoile: les couches externes sont projetées
- Quoi ? Un résidu se forme avec au milieu un astre compact (étoile à neutron ou trou noir) et autour un nuage des particules



Destin des étoiles

La classification des étoiles
(ne prend pas en compte
les systèmes multiples)

La masse détermine

- la luminosité absolue
- la température de surface (couleur)
- La durée de vie de l'étoile

Différents groupes d'objets existent

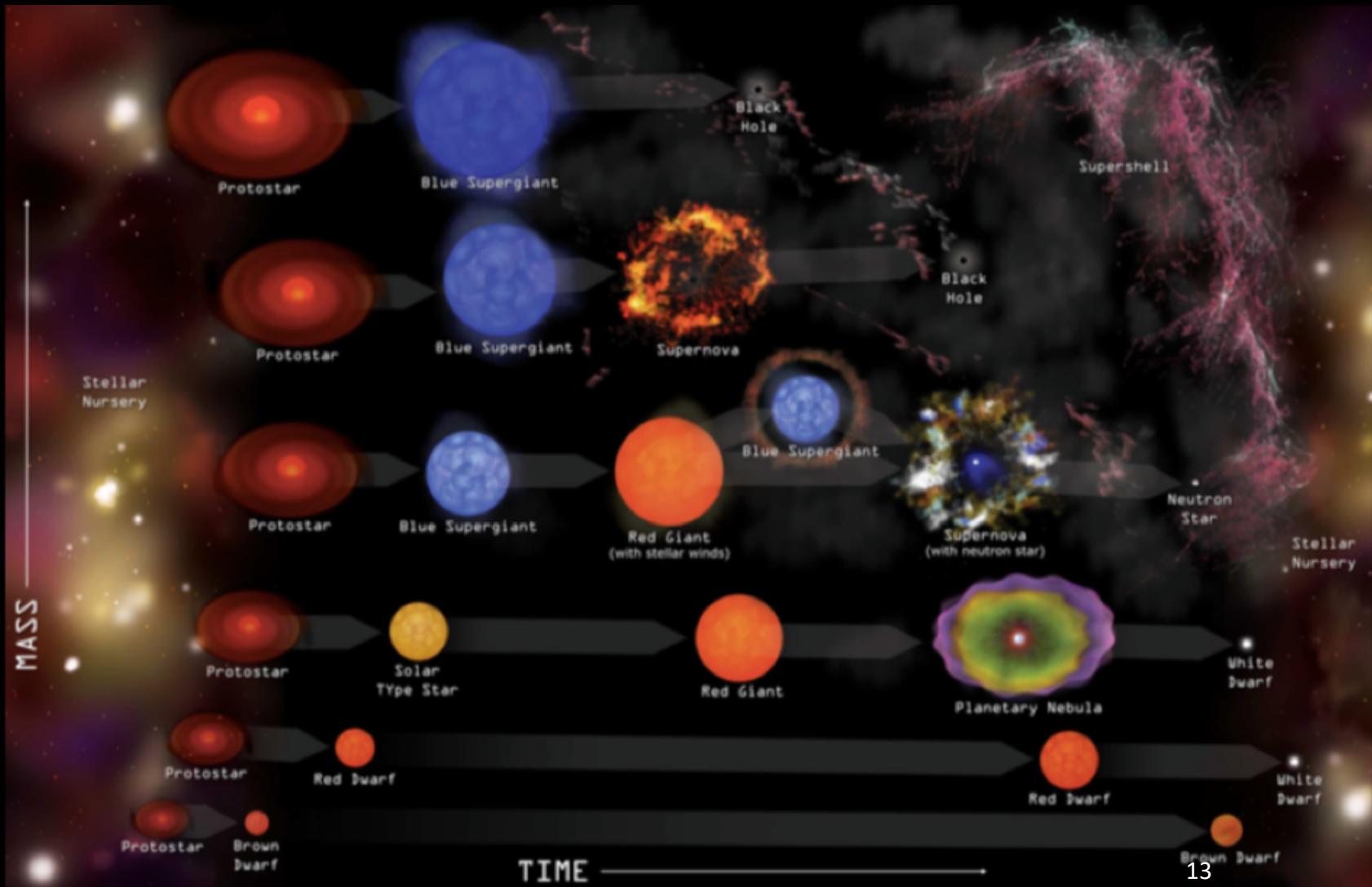
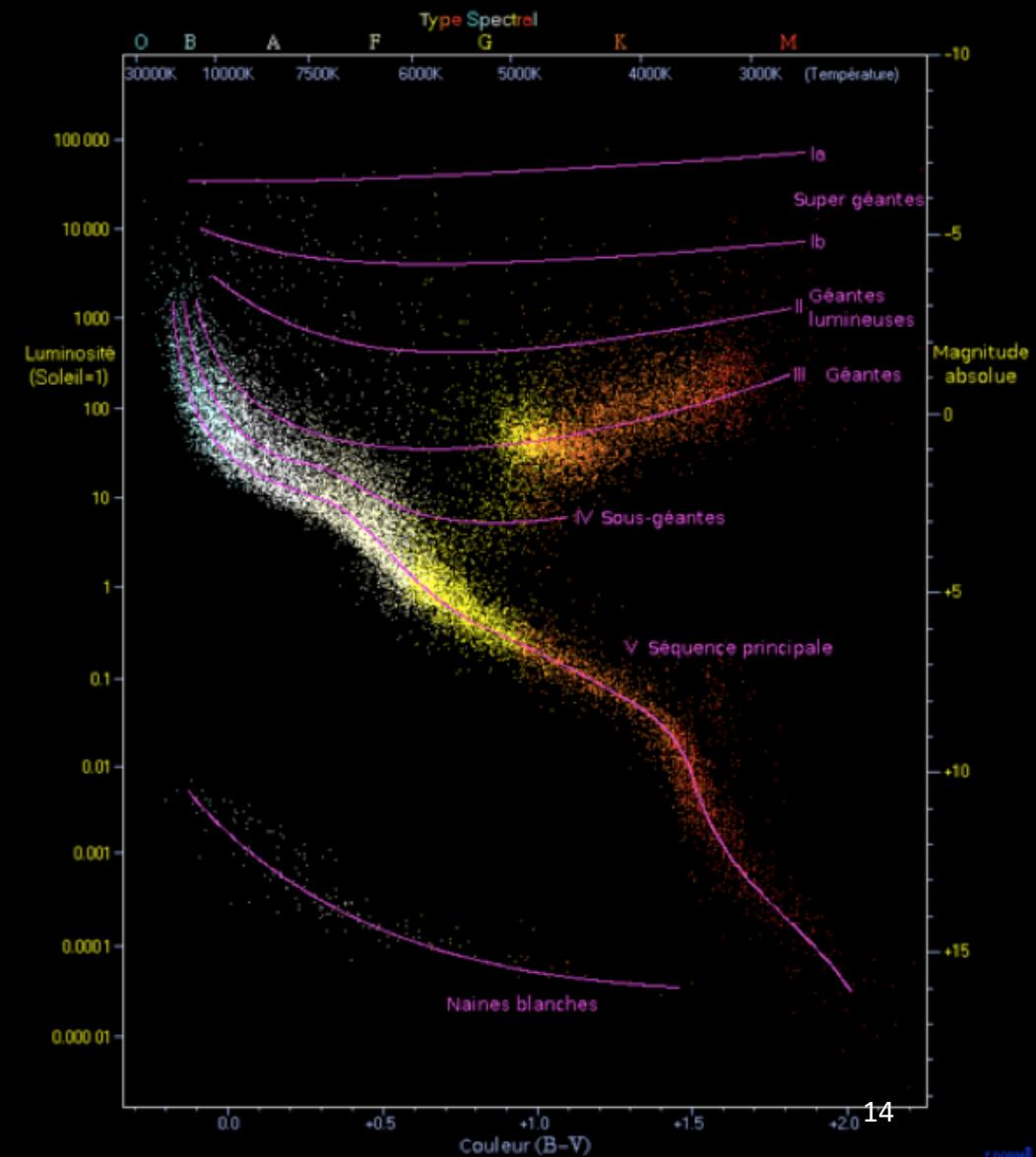


Diagramme de Hertzsprung-Russell

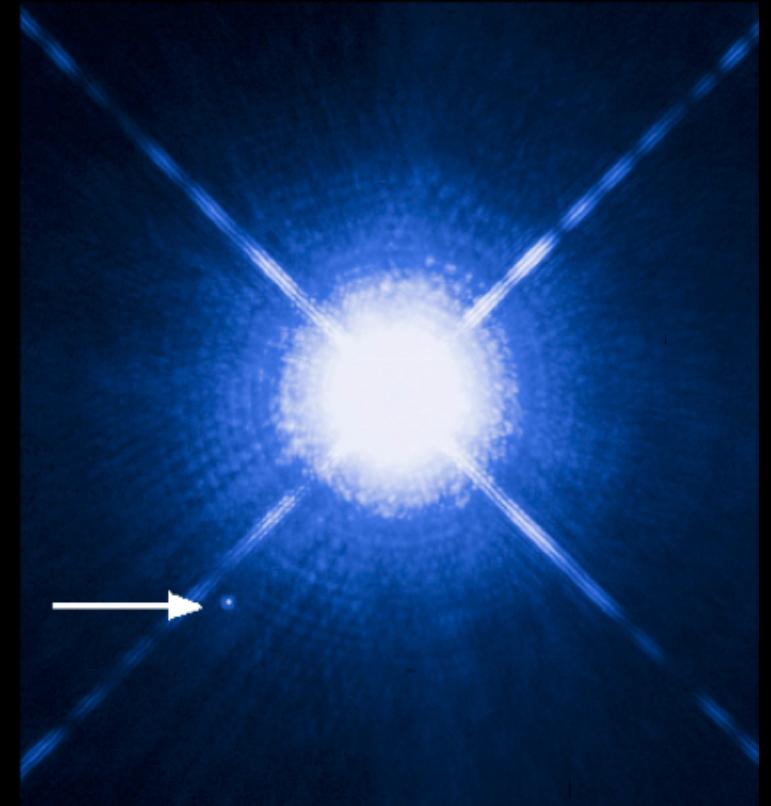
Evolution des étoiles

- Le futur d'une étoile dépend principalement de sa masse
- Différentes catégories dépendant de l'étape d'évolution de l'étoile



Les naines blanches

- Astre composée de matière dégénérée
- Astre de petite taille (\sim rayon de la terre)
- Astre dense (masse = \sim masse du soleil)
- Matière très chaude, ~ 10000 K en surface
- Cadavre laissé par les étoiles de faible masse



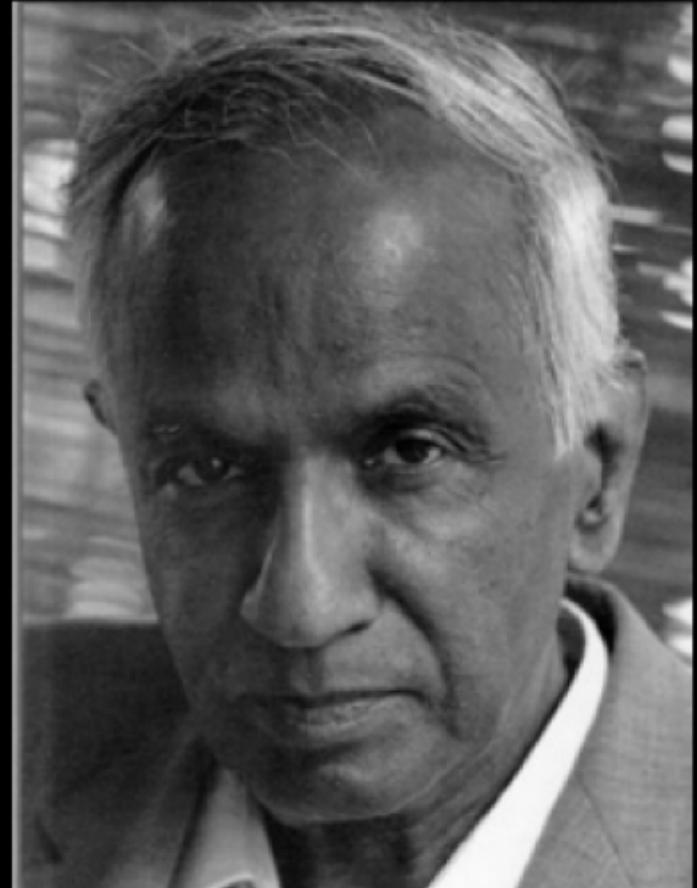
masse de Chandrasekhar

La limite fut calculée en 1930 par le physicien indien Subrahmanyan Chandrasekhar alors âgé de 20 ans lors d'un voyage en paquebot de Bombay vers l'Angleterre

Masse critique : 1.4 fois la masse du Soleil

Étoiles en fin de vie

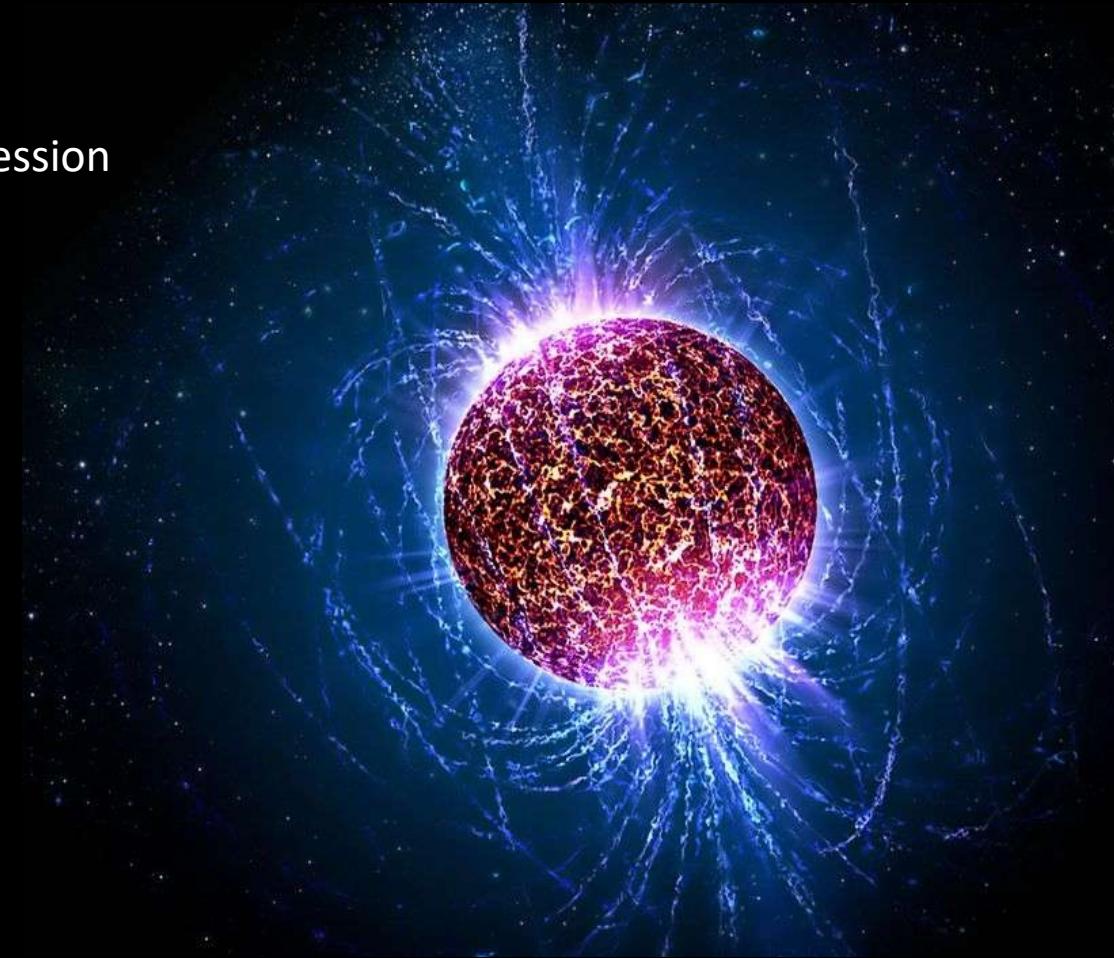
- $M < M_c$: naine blanche
- $M > M_c$: étoile à neutron/ Trou Noir
- Masse critique pour les super nova la



Subrahmanyan
Chandrasekhar

Les étoiles à neutrons

- Cadavres d'étoiles massive
- L'attraction gravitationnelle va être plus forte que la pression de dégénérescence des électrons.
- Les électrons vont fusionner avec les protons.
- Astres de très petite taille (rayon ~ 10 km)
- Astres très dense fait de neutrons (masse = \sim masse du soleil)
- Tourne très rapidement sur lui même (peut atteindre plusieurs centaines de Hz)
- Fort champs magnétique qui va éjecter les particules aux pôle magnétiques (pulsar)



Trous noirs

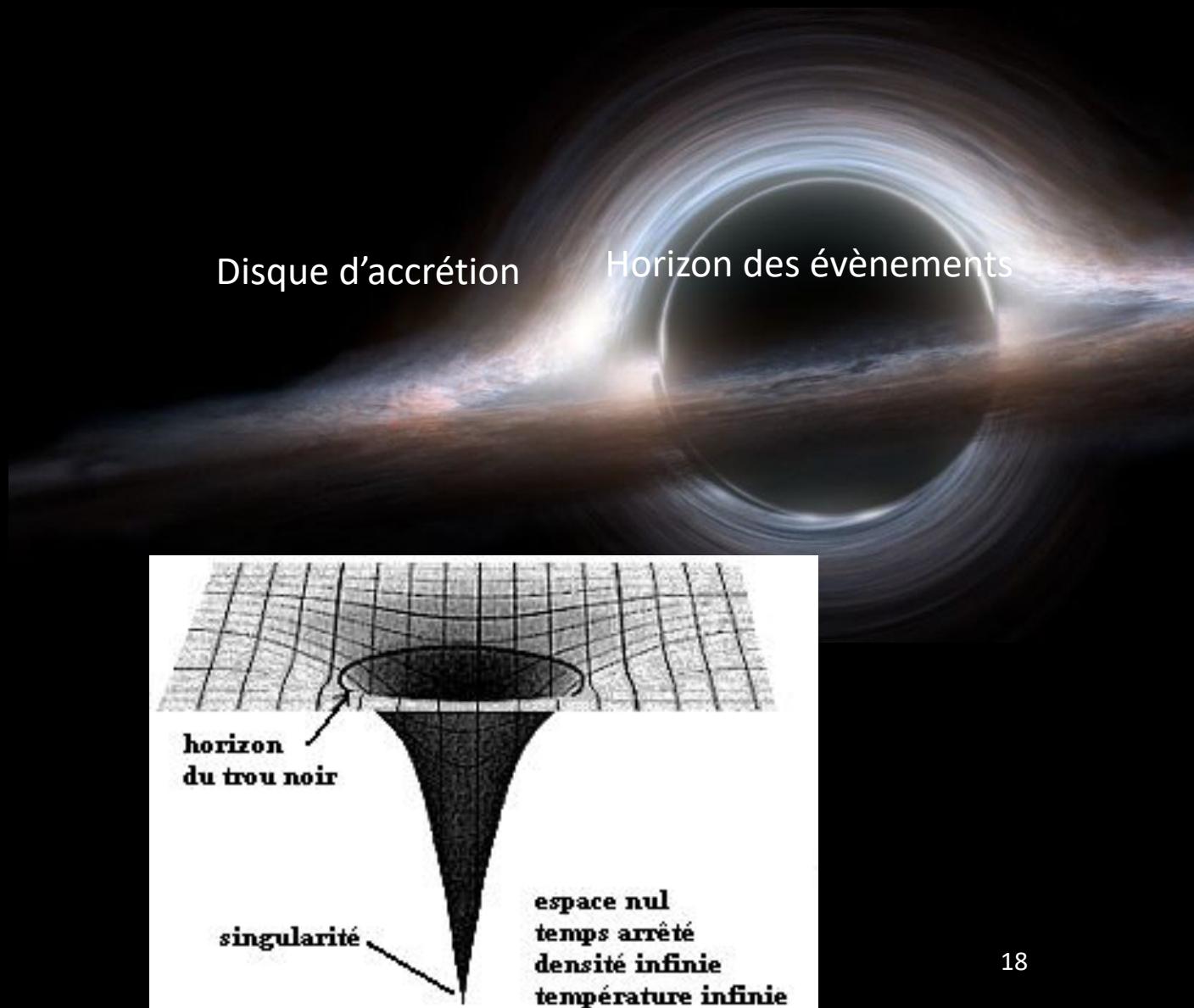
- Cadavre des étoiles les plus massives
- Comment ? La matière va se regrouper au centre et fortement impacter l'espace-temps
- Quoi ?

Disque d'accrétion:

- Matière chaude orbitant autour du trou noir

Horizon des évènements:

- Limite non matérielle
- Rien ne peut s'échapper



Résumé de la vie d'une étoile

