

Les étoiles

Module Recherche en physique moderne RECH 601

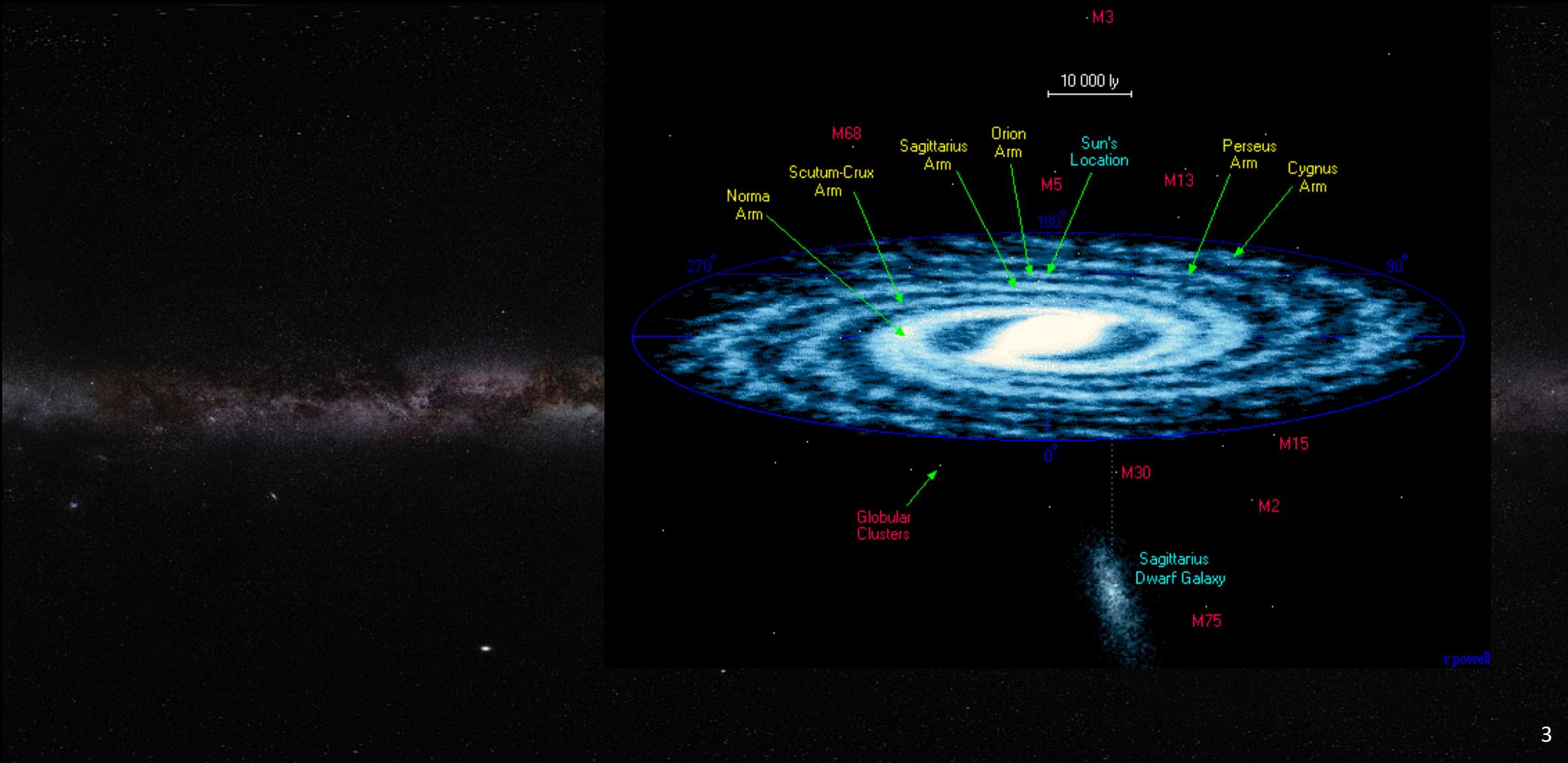
David Sanchez (david.sanchez@lapp.in2p3.fr)

Mathieu Lavergne

La Voie lactée

100 milliards d'étoiles
du gaz (1 particule par cm³ !)
des poussières
de la lumière
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



Le soleil

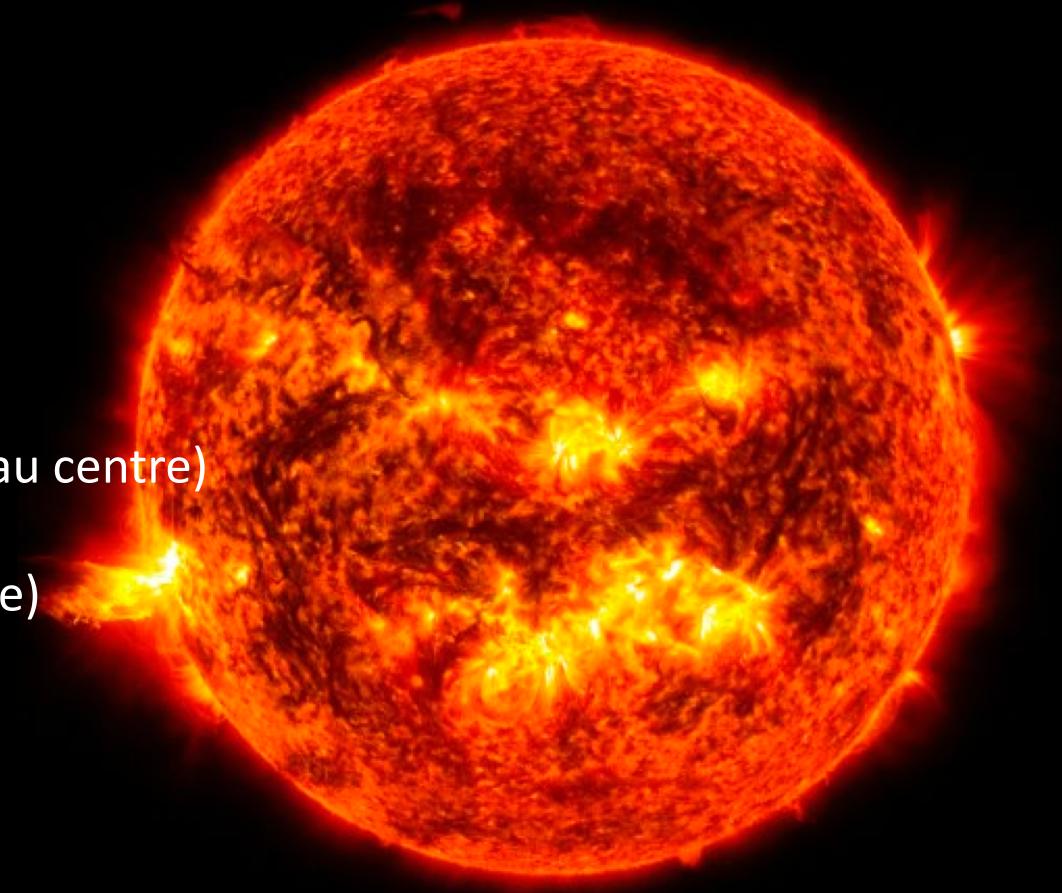
Rayon: $\sim 700\ 000$ km

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)

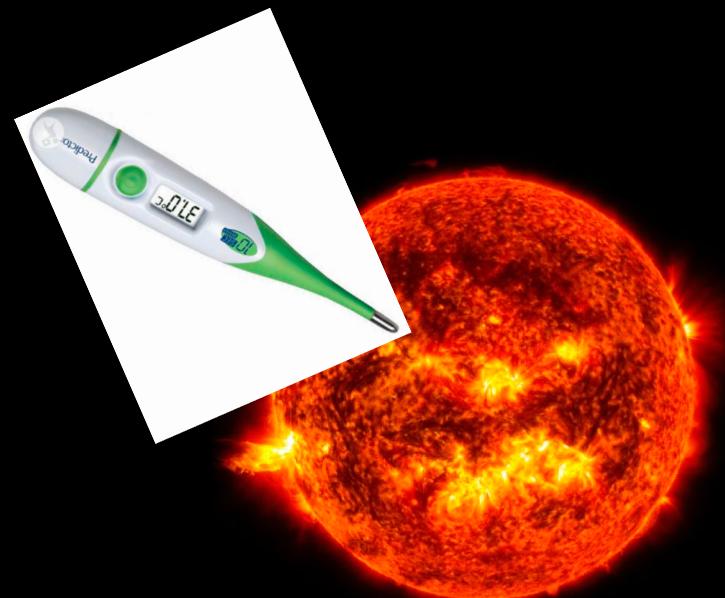
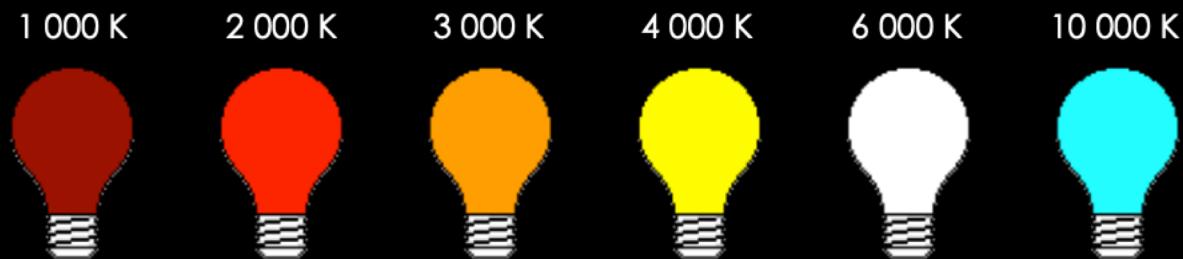


La température du soleil

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



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



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



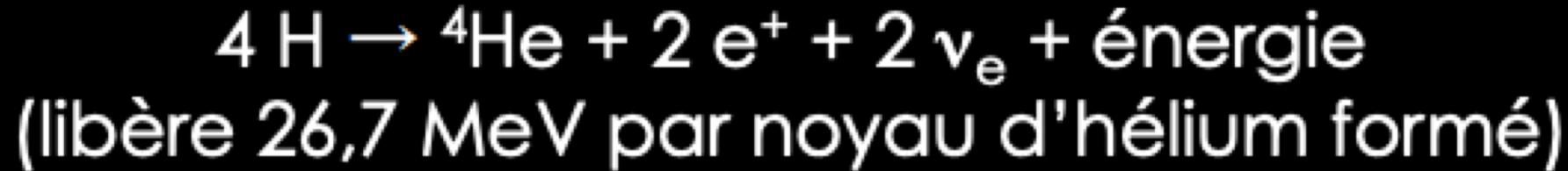
Eddington (1882-1944)



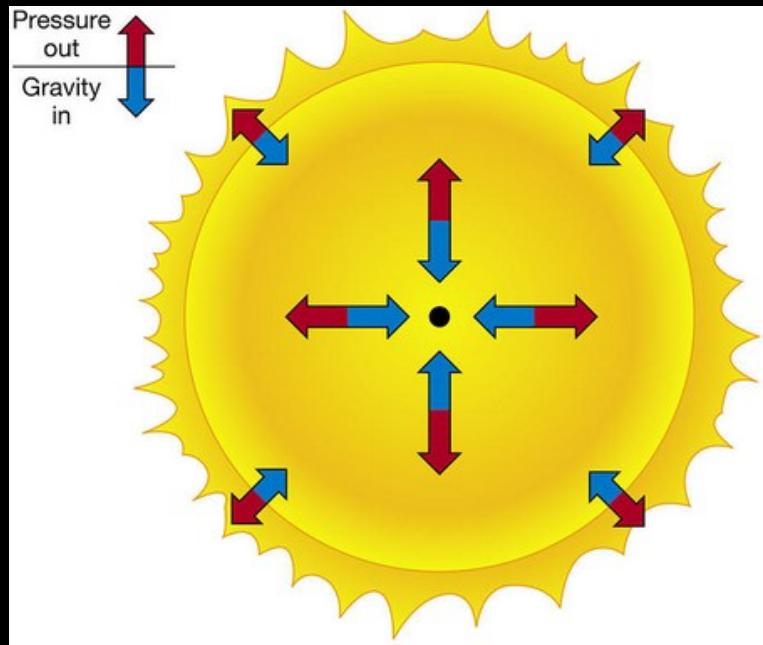
Gamow (1904-1968)



Bethe (1906-2005)



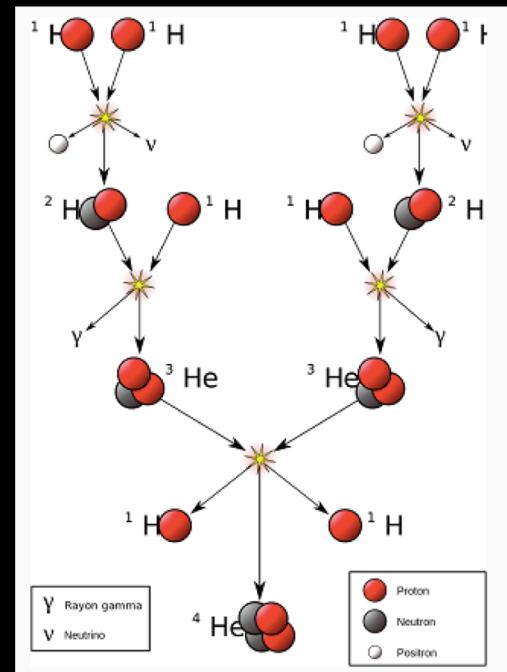
Auto-régulation



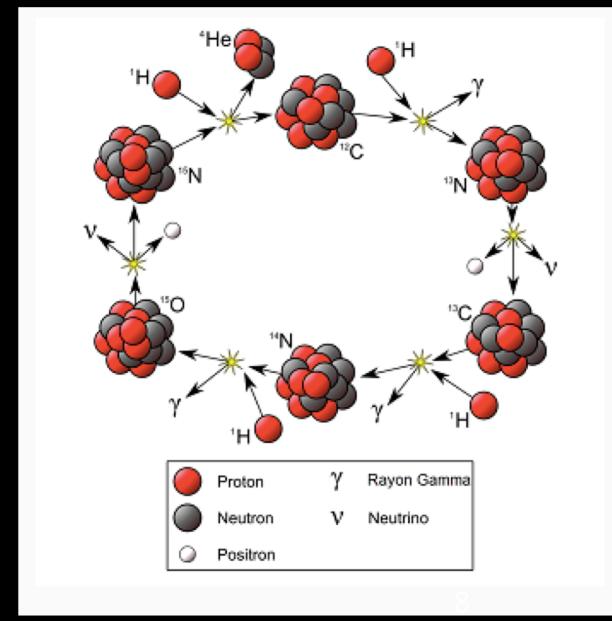
Equilibre Hydrostatique: Force gravitationnelle
= Force de pression dues à des réactions de
fusions nucléaires

2 cycles de fusion de réactions nucléaires

Pour étoile $< 1.1 M_{\text{solaire}}$,
chaîne proton-proton



Les autres, cycle carbone-azote-oxygène



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

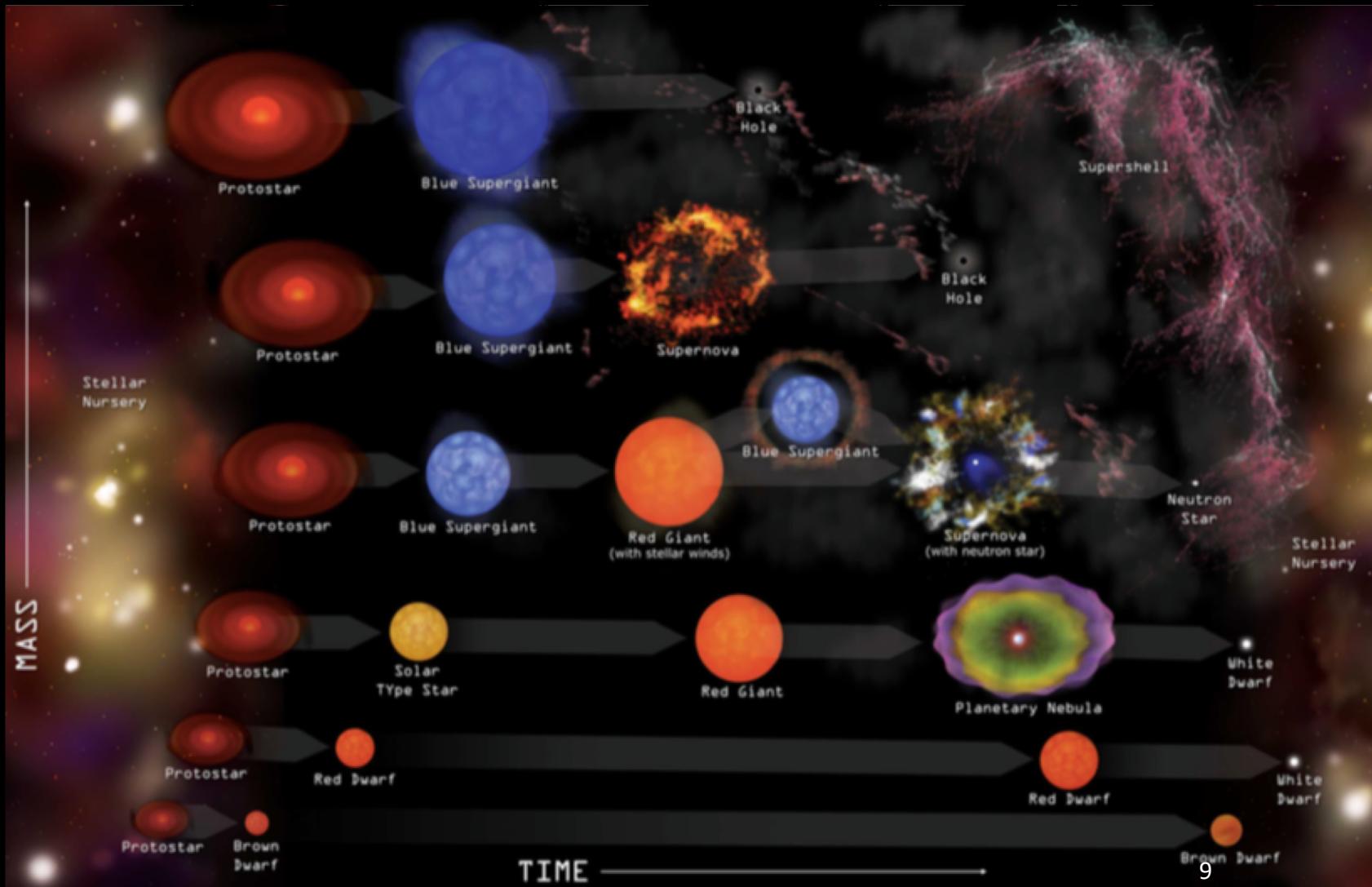
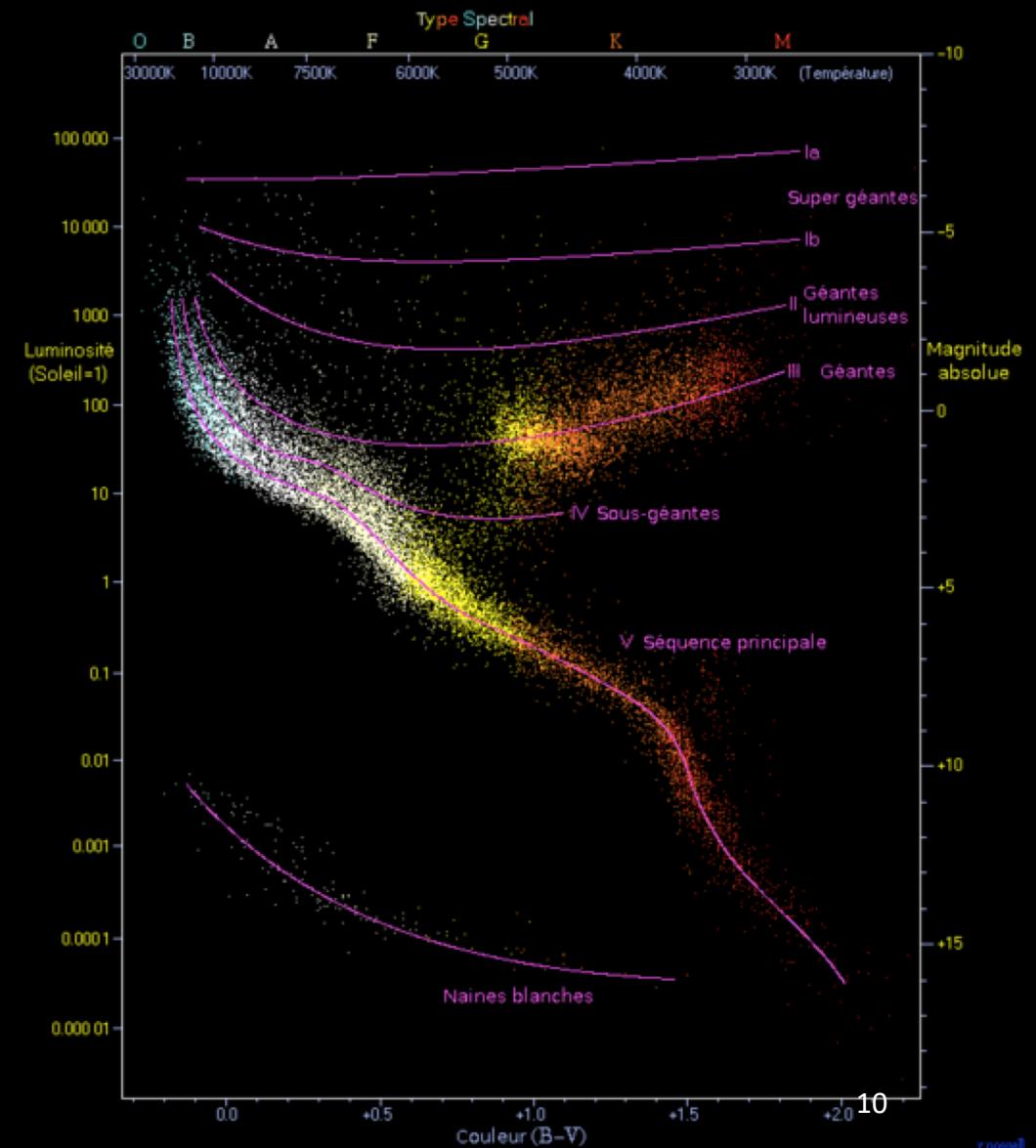


diagramme de Hertzsprung-Russell

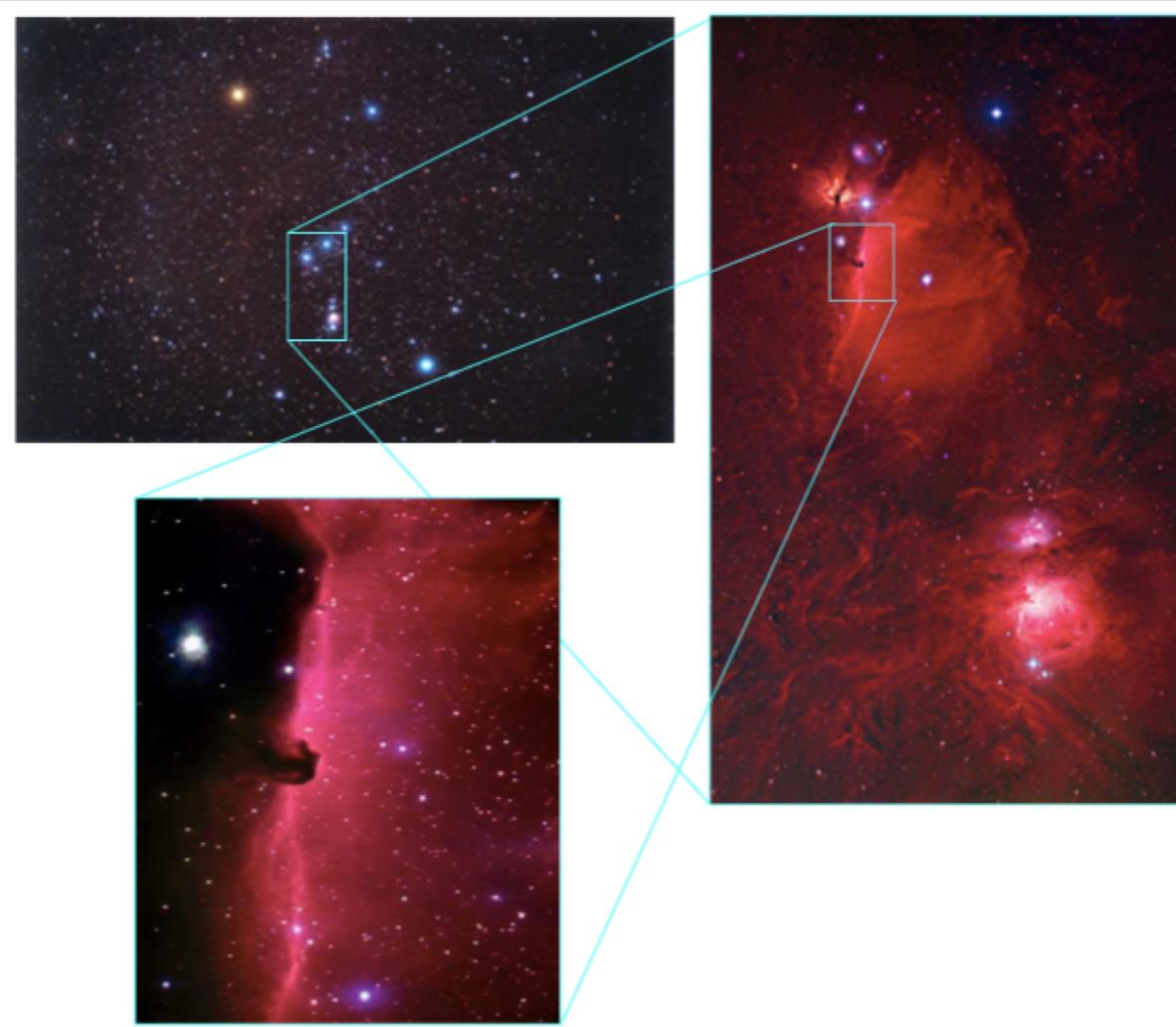
Evolution des étoiles

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



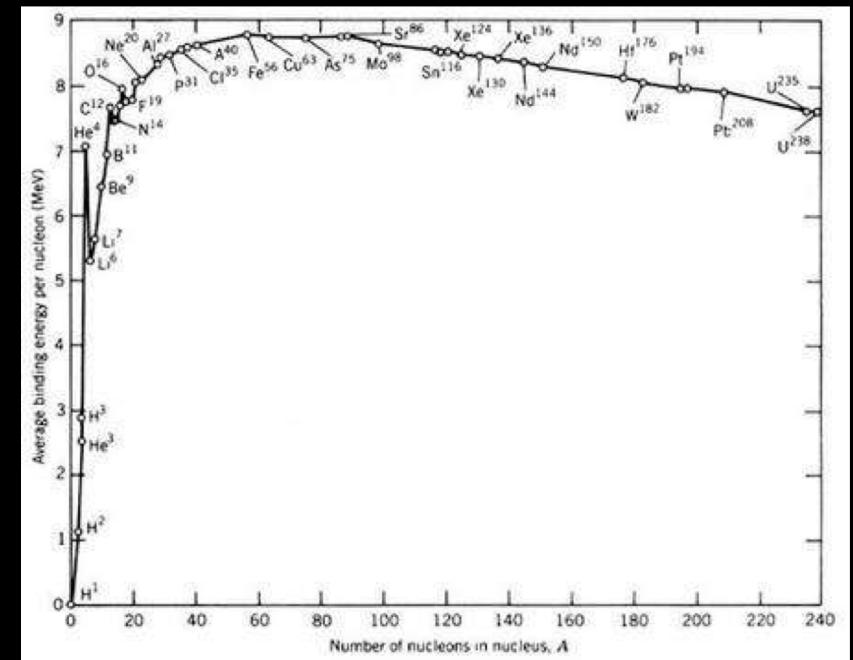
Pouponnières d'étoiles

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

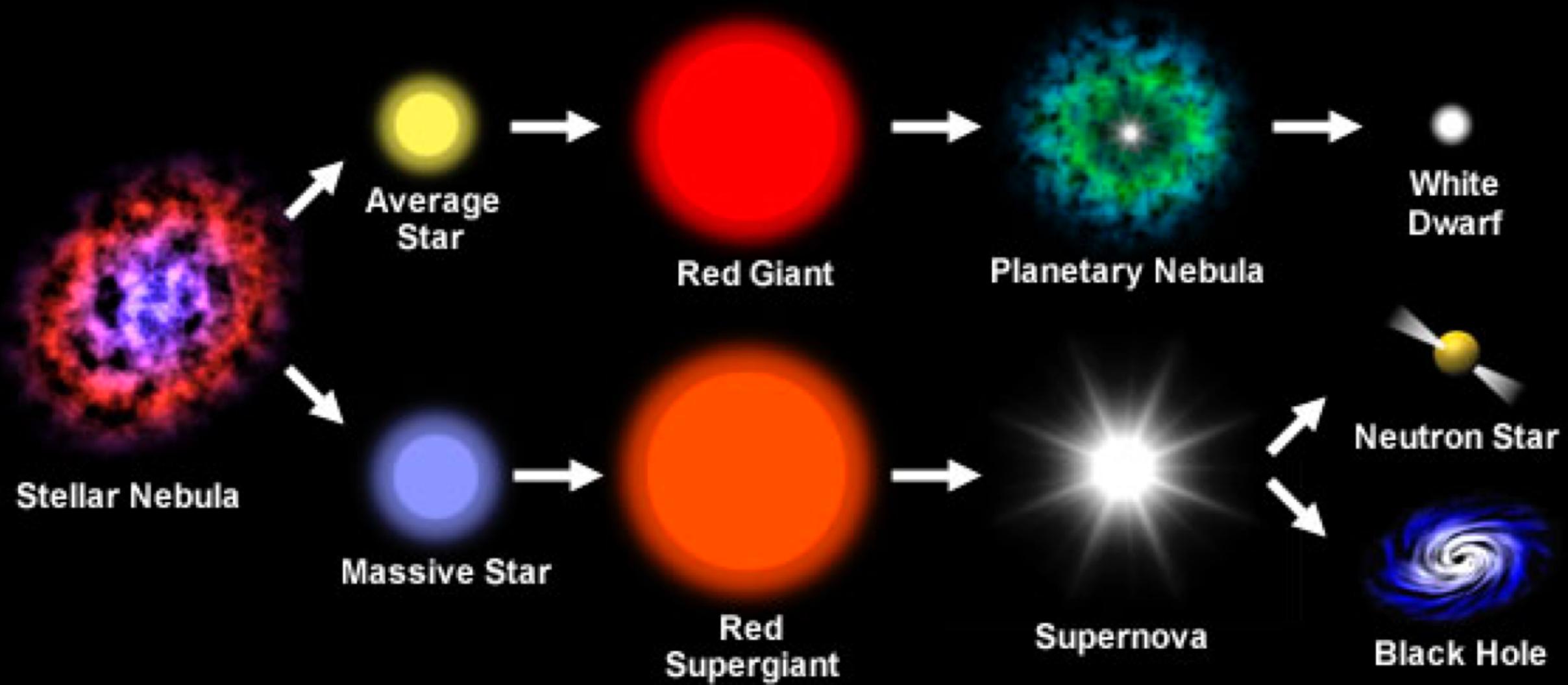


Vie d'une étoile est déterminée par sa masse

- ~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 → créés durant les explosions



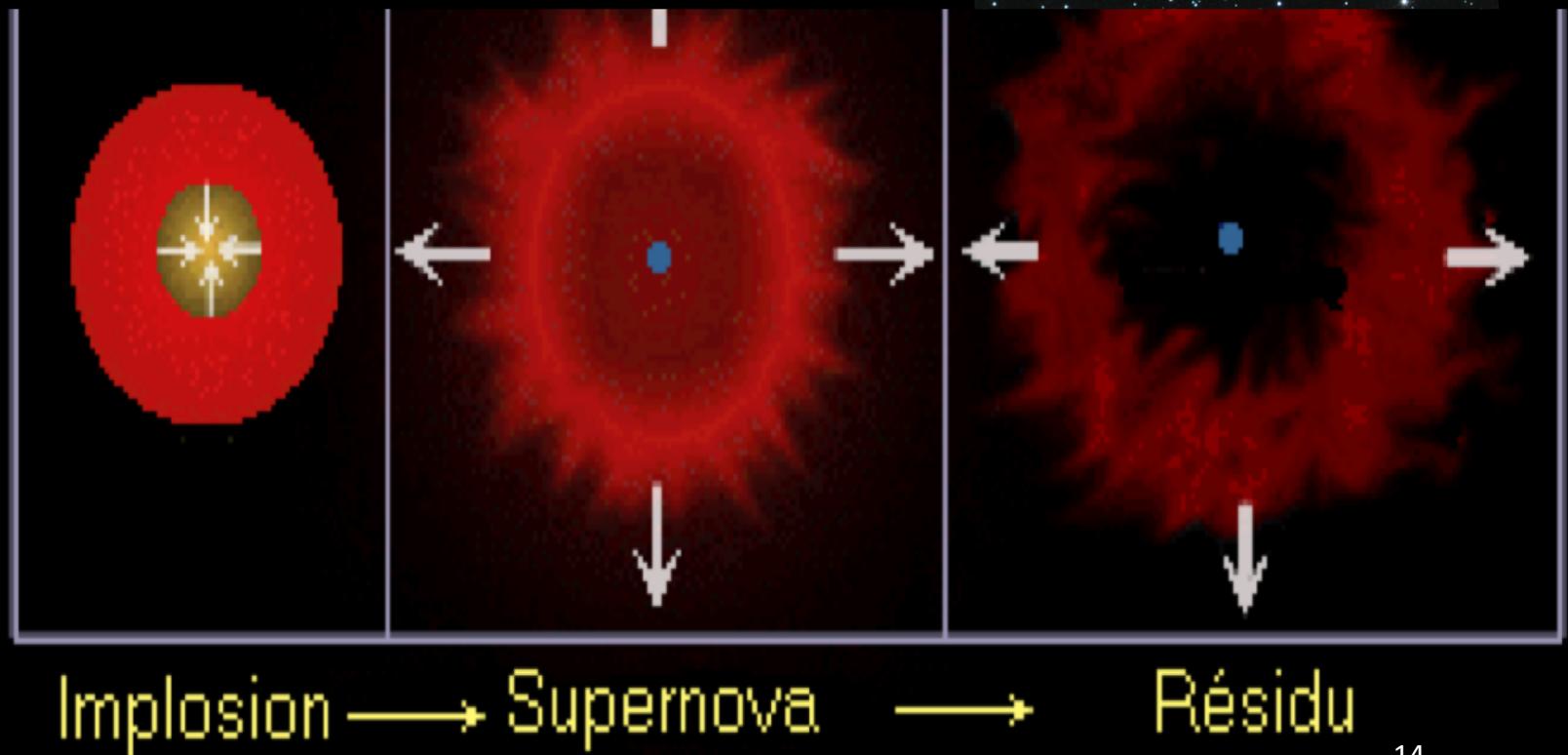
Life Cycle of a Star



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



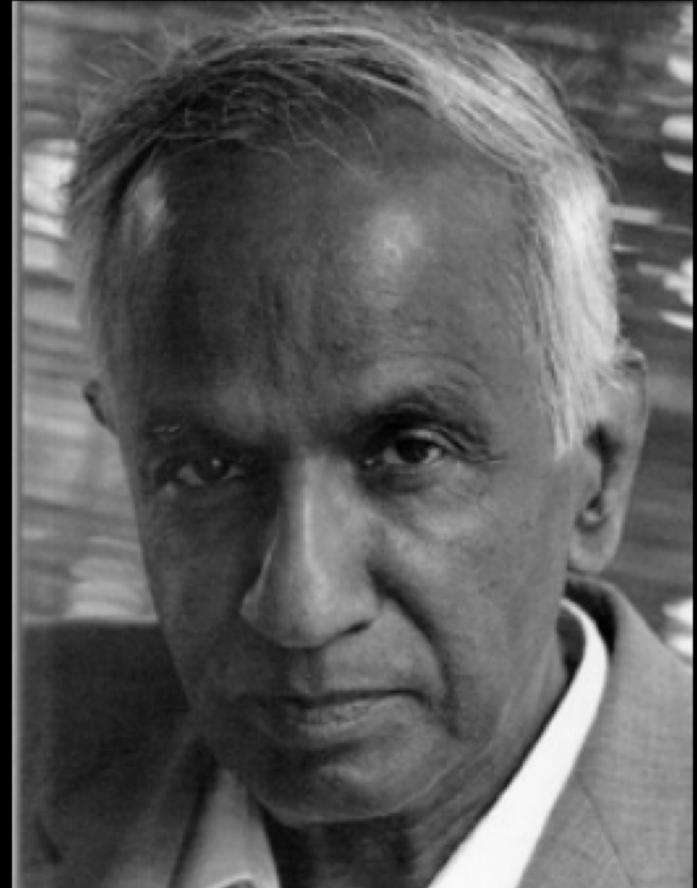
masse de Chandrasekhar

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

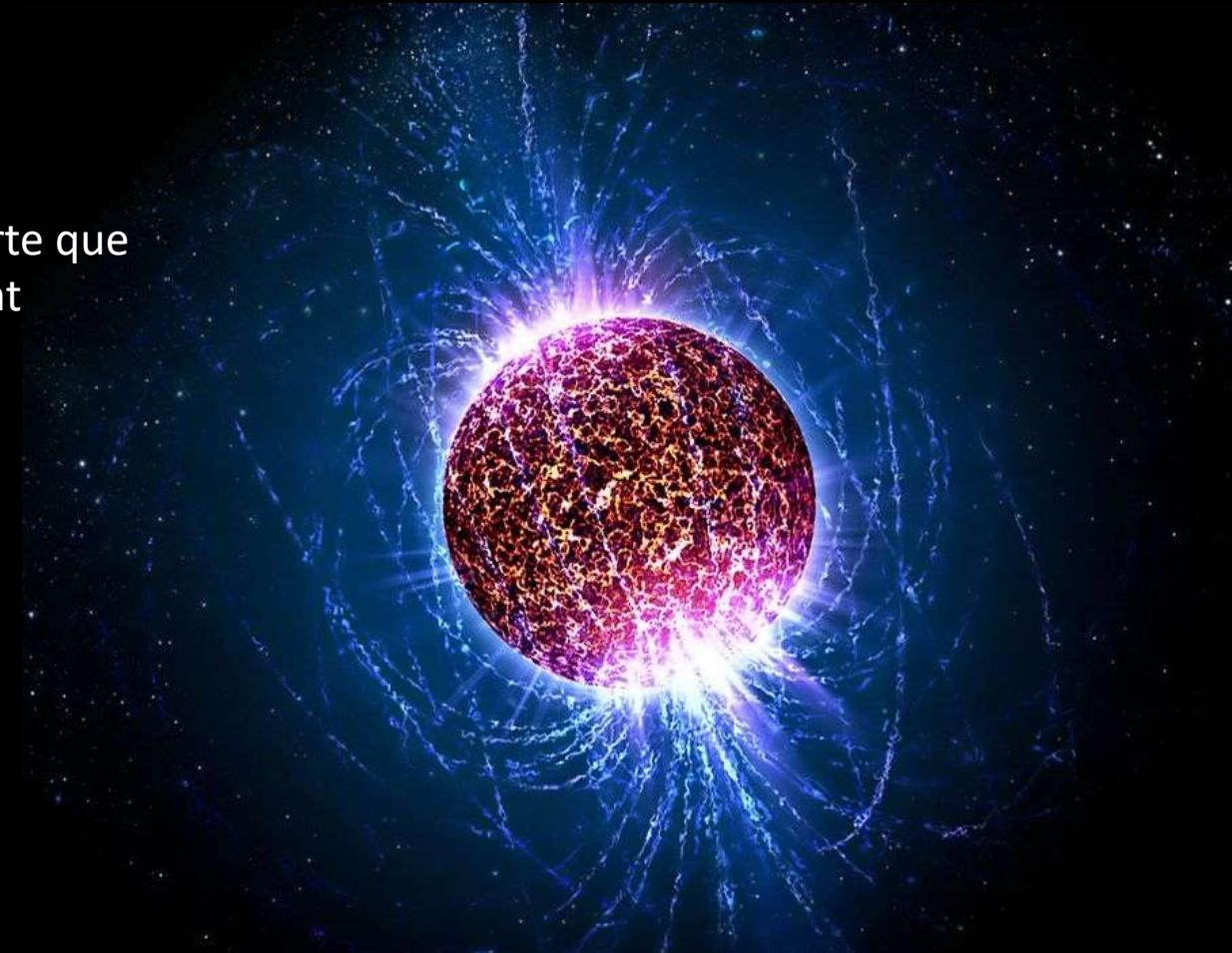
- $M < M_c$: naine blanche
- $M > M_c$: étoile à neutron/ Trou Noir



Subrahmanyan
Chandrasekhar

Les étoiles à neutrons

- Quand ? Après le phénomène de Novae
- Comment ? L'attraction gravitationnelle va être plus forte que la force retenant les électrons autour du noyau. Ils vont fusionner
- Quoi ?
 - Cadavres d'étoiles
 - Astres très massifs fait de neutrons
 - Fort champs magnétique qui va éjecter les particules aux pôle magnétiques



Trous noirs

- Quand ? Principalement après le phénomène de Novae
- 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

