

# Les étoiles

Module Recherche en physique moderne RECH 601

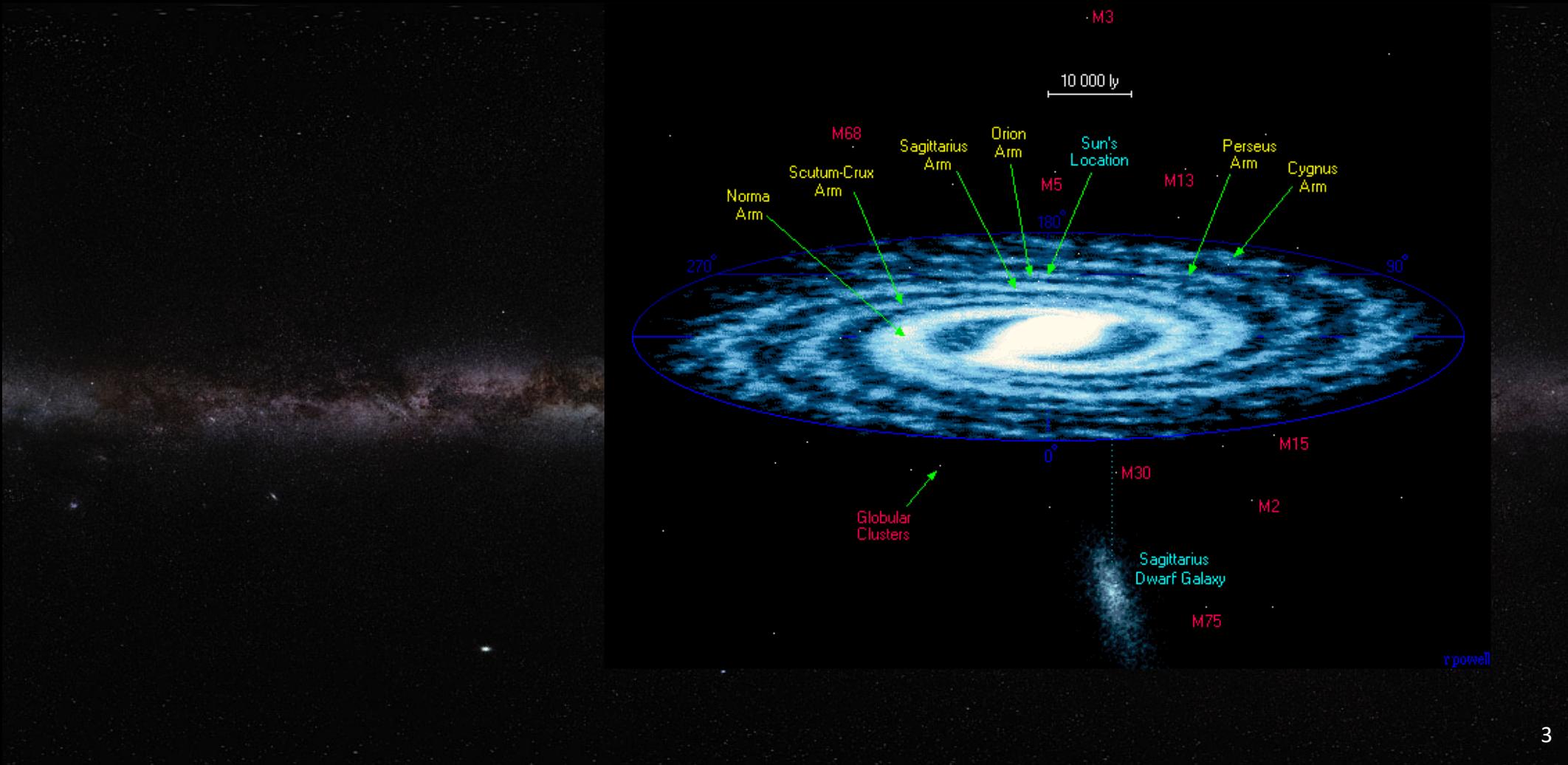
David Sanchez ([david.sanchez@lapp.in2p3.fr](mailto:david.sanchez@lapp.in2p3.fr))

Mathieu Lavergne

# La Voie lactée

100 milliards d'étoiles  
du gaz (1 particule par cm<sup>3</sup> !)  
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

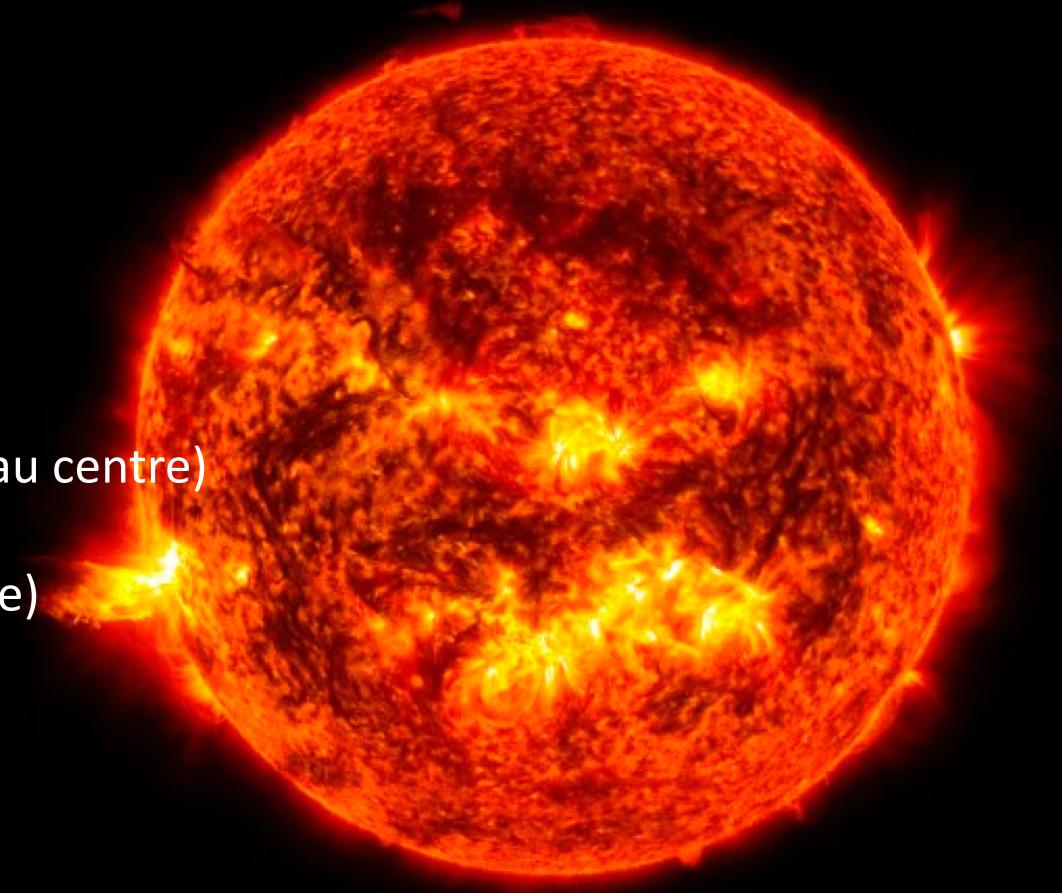
Rayon:  $\sim 700\,000$  km

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

Age:  $\sim 4,6$  milliards d'années

Température:  $\sim 6000$  K en surface (10 millions de K au centre)

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

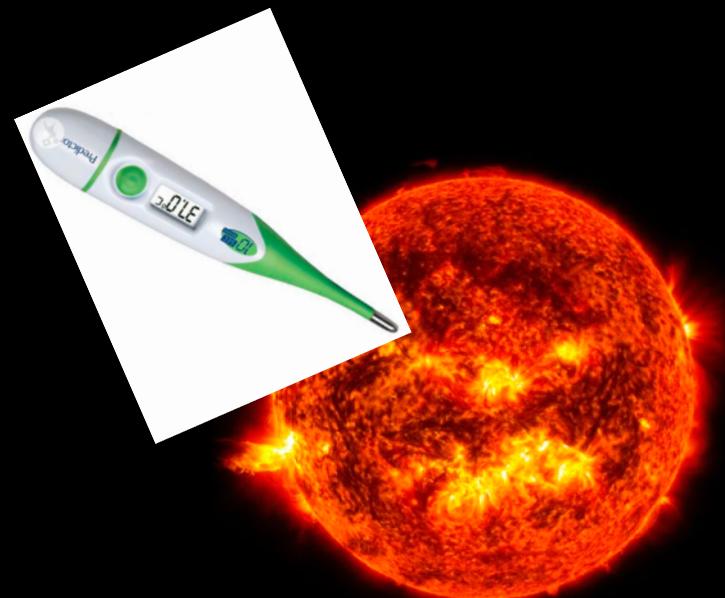
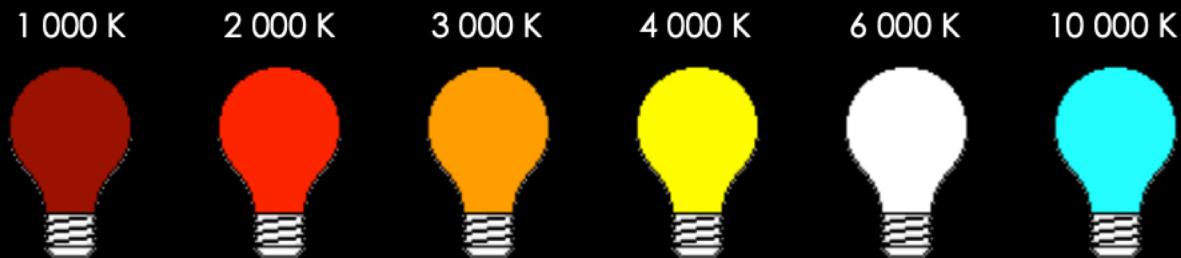


# La température du soleil

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<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> siècle)
- Contraction gravitationnelle (Fin XIX<sup>e</sup> 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



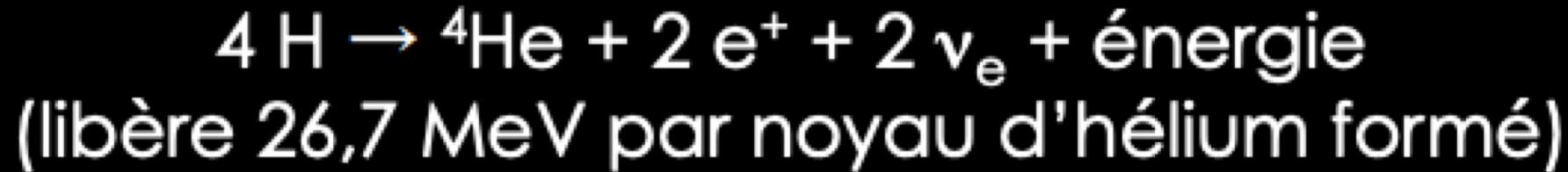
Eddington (1882-1944)



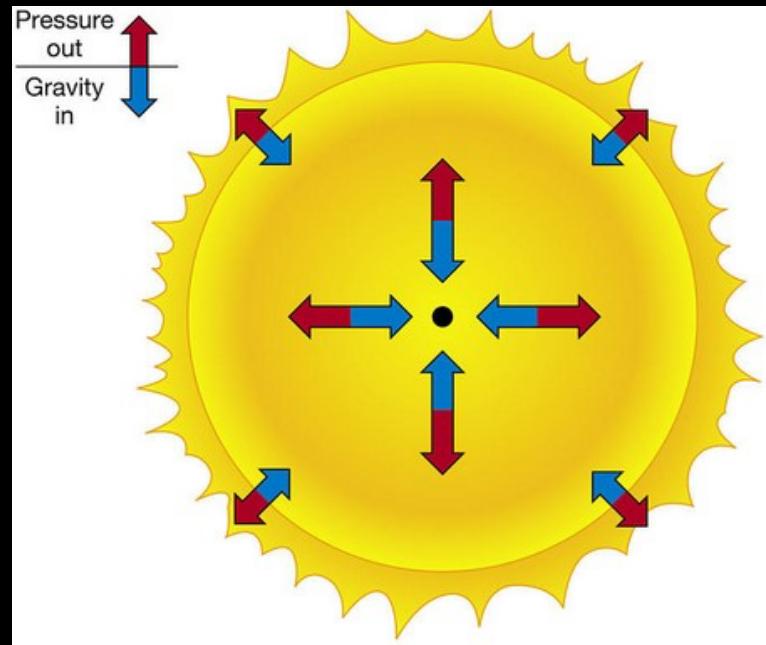
Gamow (1904-1968)



Bethe (1906-2005)



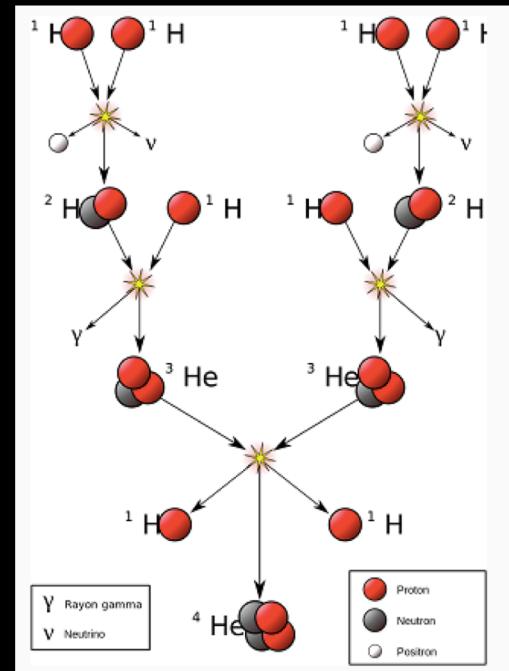
# Auto-régulation



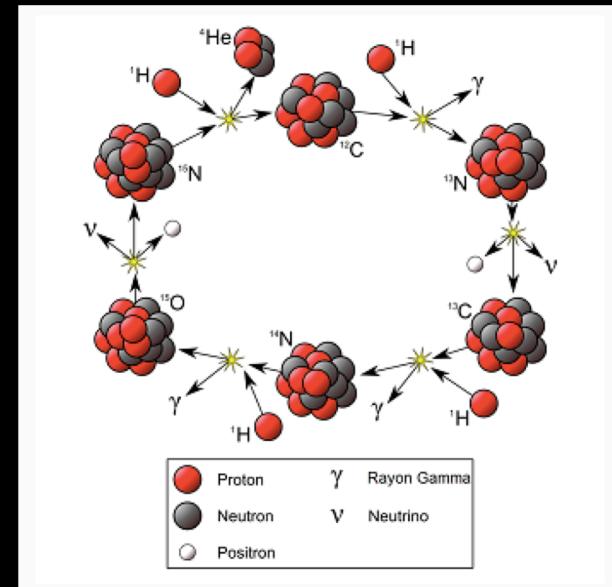
Equilibre Hydrostatique: Force gravitationnelle  
= Force de pression dues à des réactions de  
fusions nucléaires

2 cycles de fusion de réactions nucléaires

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



Les autres, cycle carbone-azote-oxygène



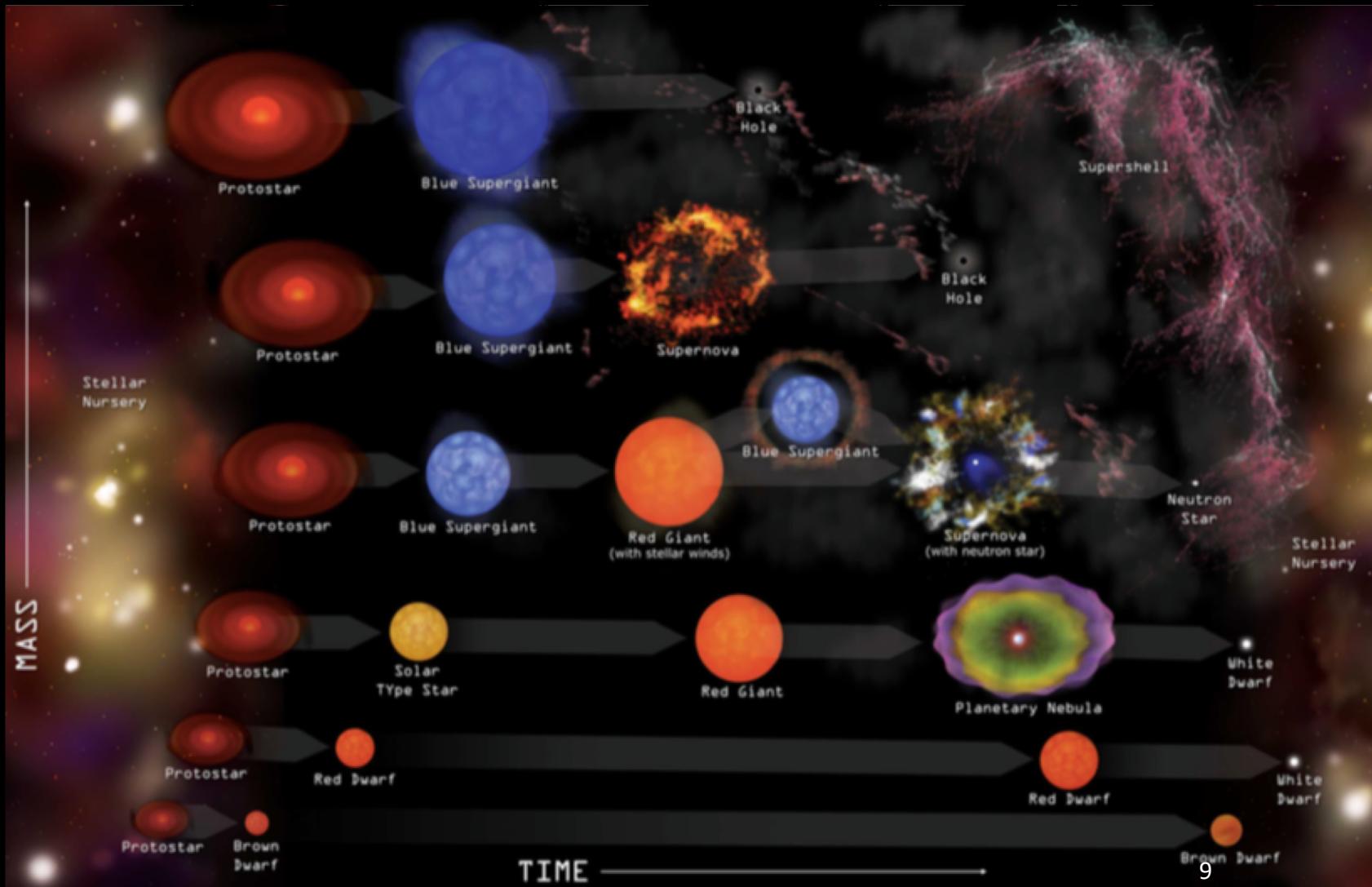
# Destin des étoiles

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

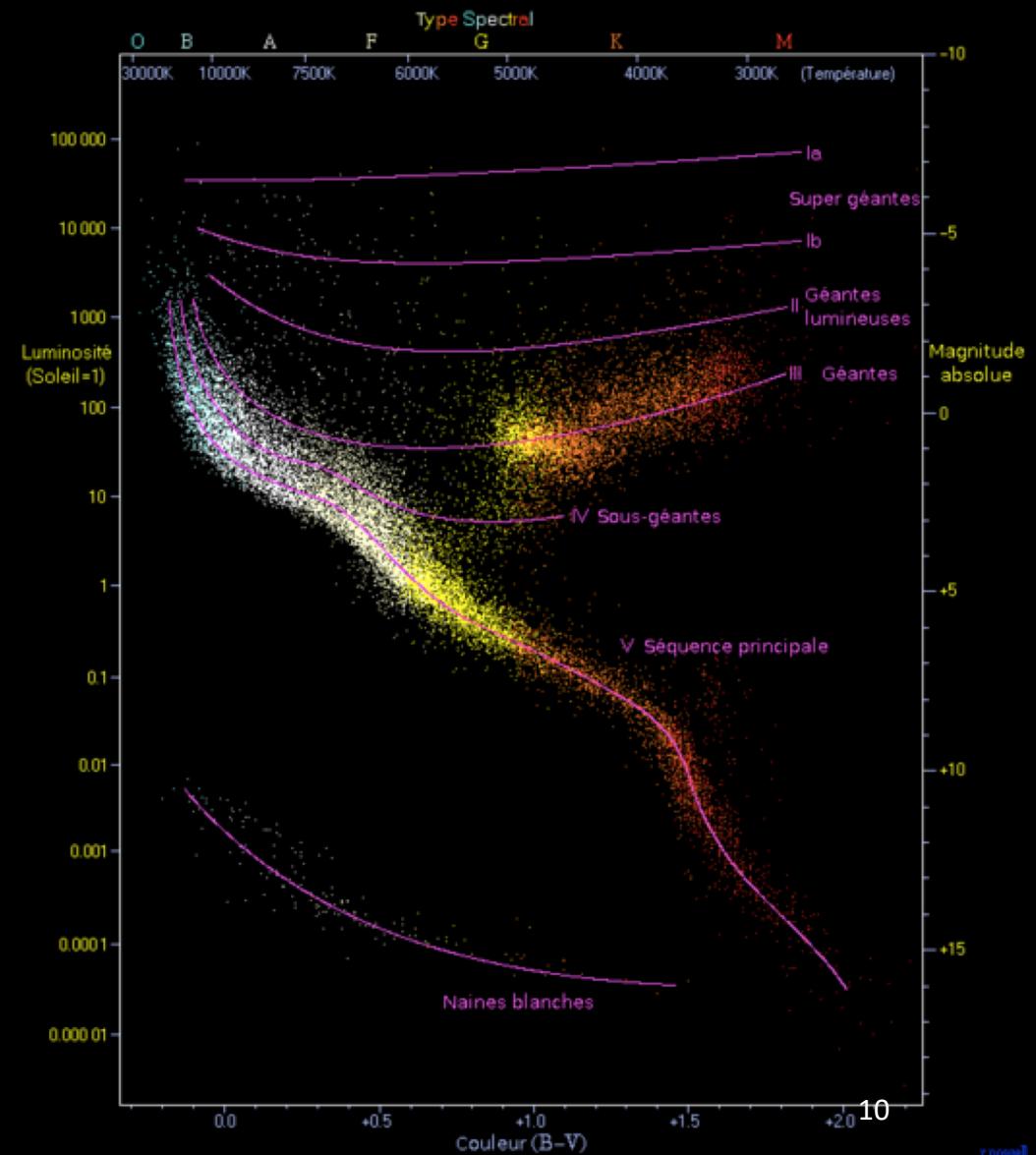
Différents groupes d'objets existent



# diagramme de Hertzsprung-Russell

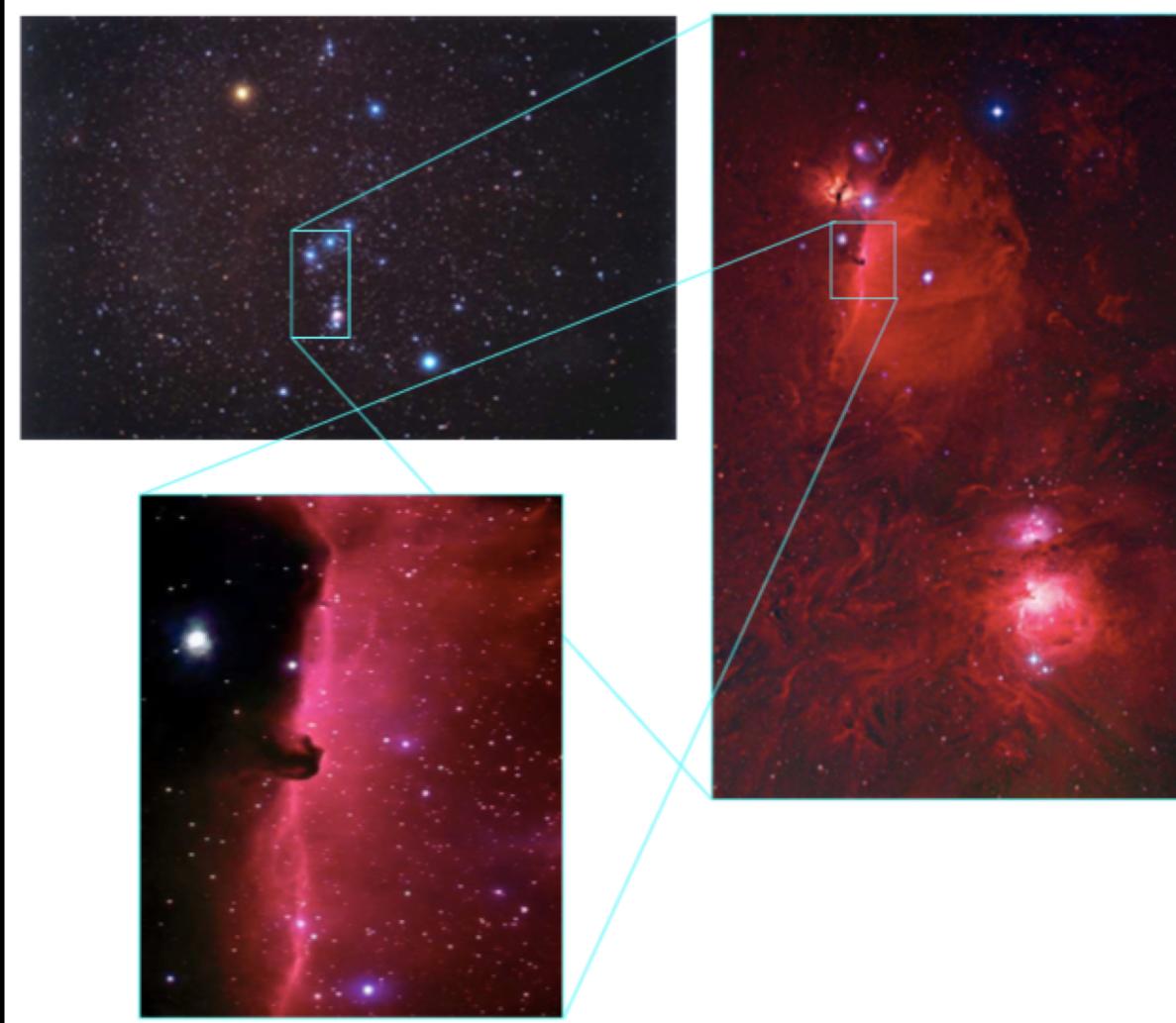
## Evolution des étoiles

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



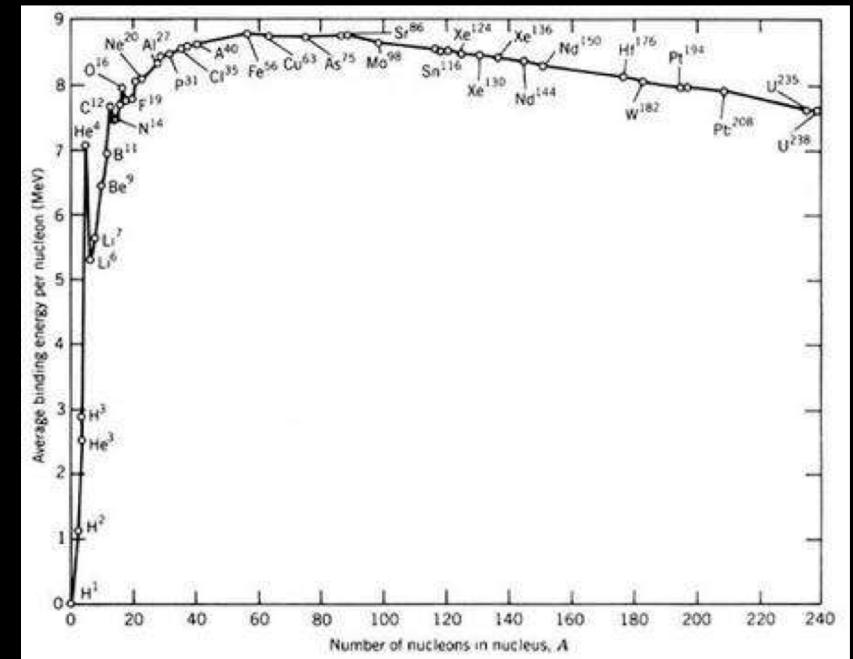
# Pouponnières d'étoiles

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

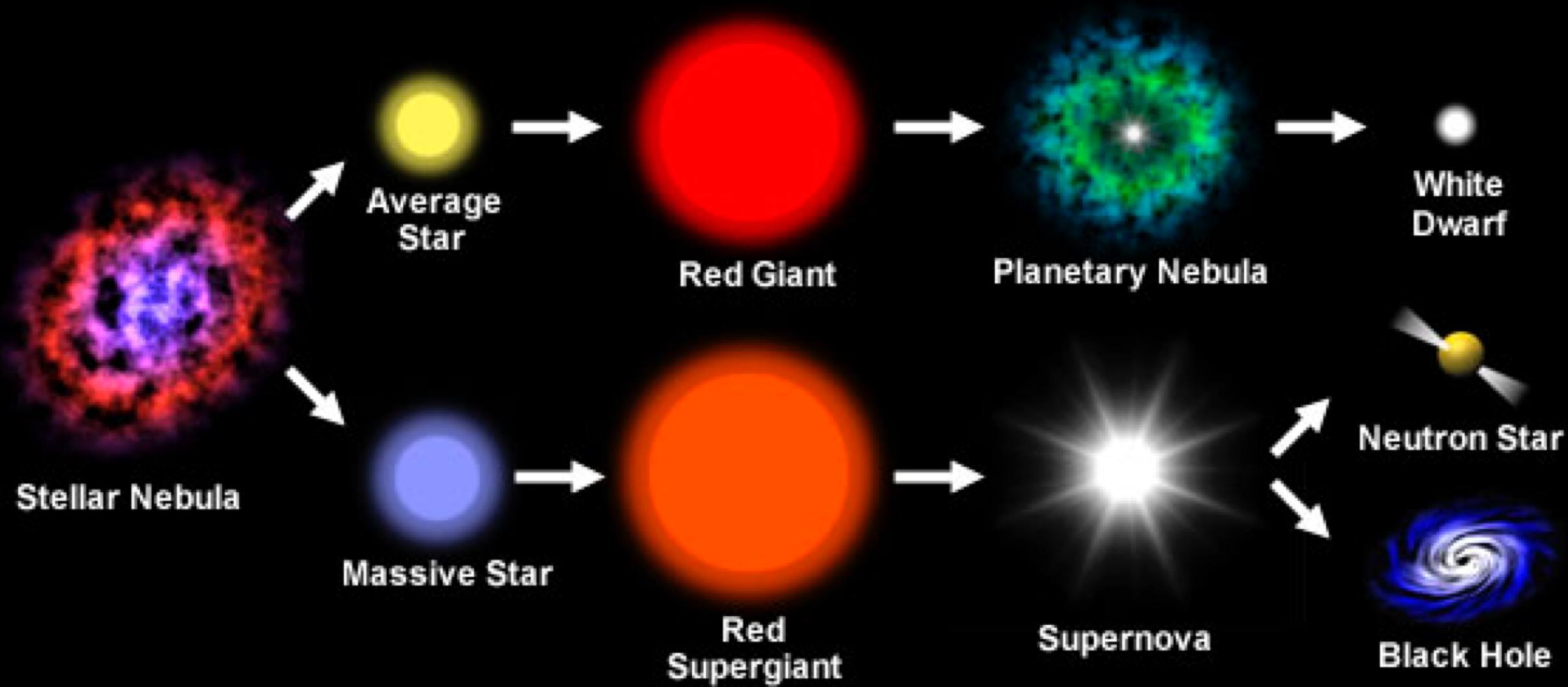


# Vie d'une étoile est déterminée par sa masse

- ~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



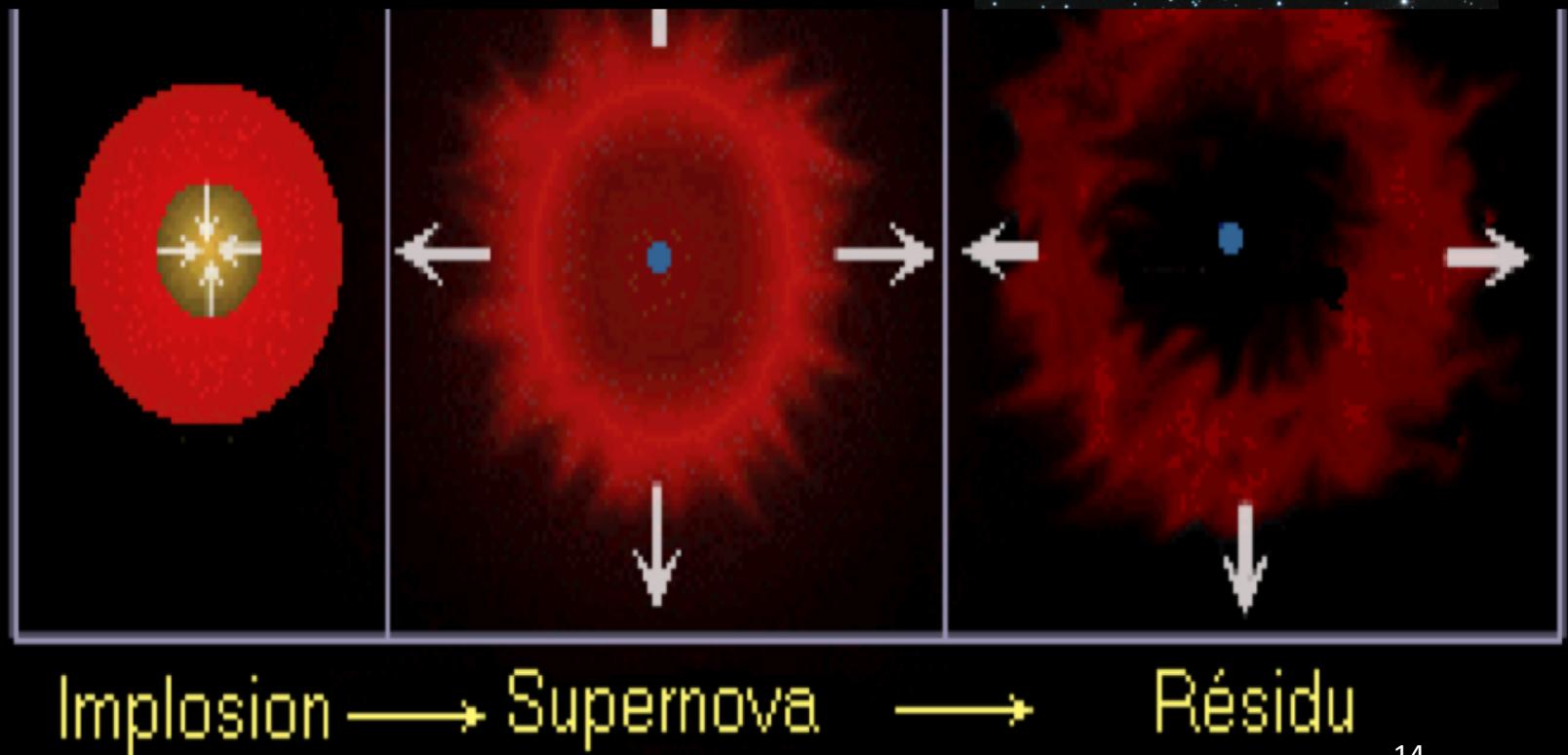
## Life Cycle of a Star



# 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



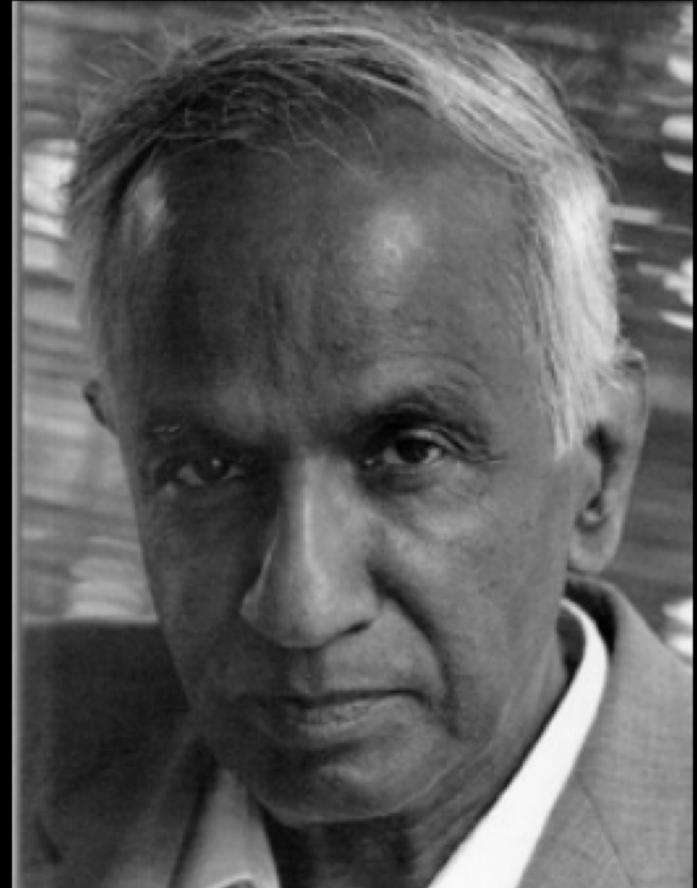
# masse de Chandrasekhar

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

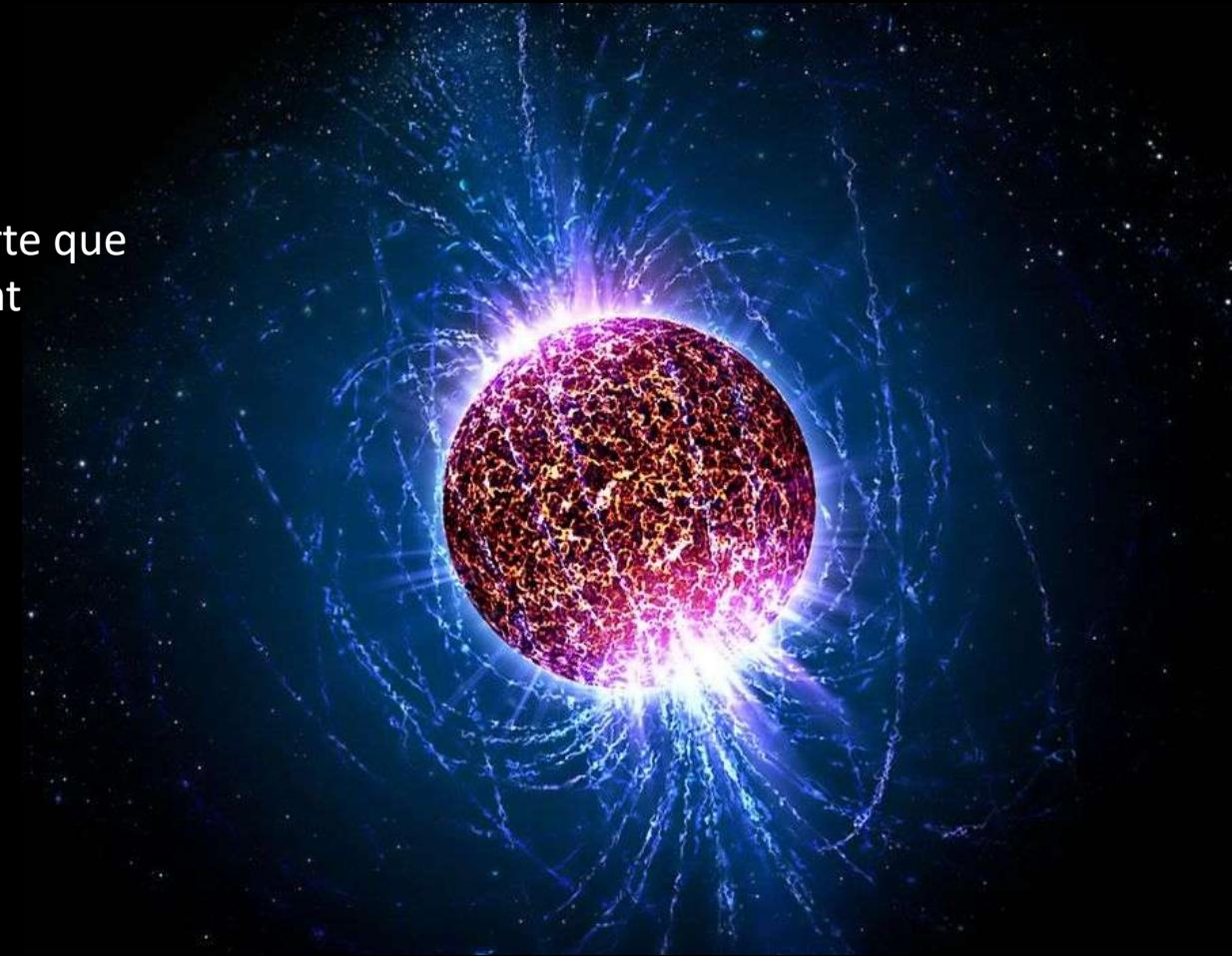
- $M < M_c$  : naine blanche
- $M > M_c$  : étoile à neutron/ Trou Noir



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



Disque d'accrétion

Horizon des évènements

