

# La vie des étoiles

**Alexandre Costa, Beatriz García,  
Ricardo Moreno, Rosa M Ros**

*Union Astronomique Internationale,  
Secundária Escola de Loulé, Portugal*

*ITeDA et Université Technologique Nationale, Argentine*

*Colegio Retamar de Madrid, Espagne*

*Université Polytechnique de Catalogne, Espagne*



# Objectifs

- Comprendre la différence entre magnitude apparente et magnitude absolue.
- Comprendre le diagramme Hertzsprung-Russel représentant un diagramme de couleur / magnitude.
- Comprendre des concepts comme la supernova, l'étoile à neutrons, le trou noir et le pulsar.

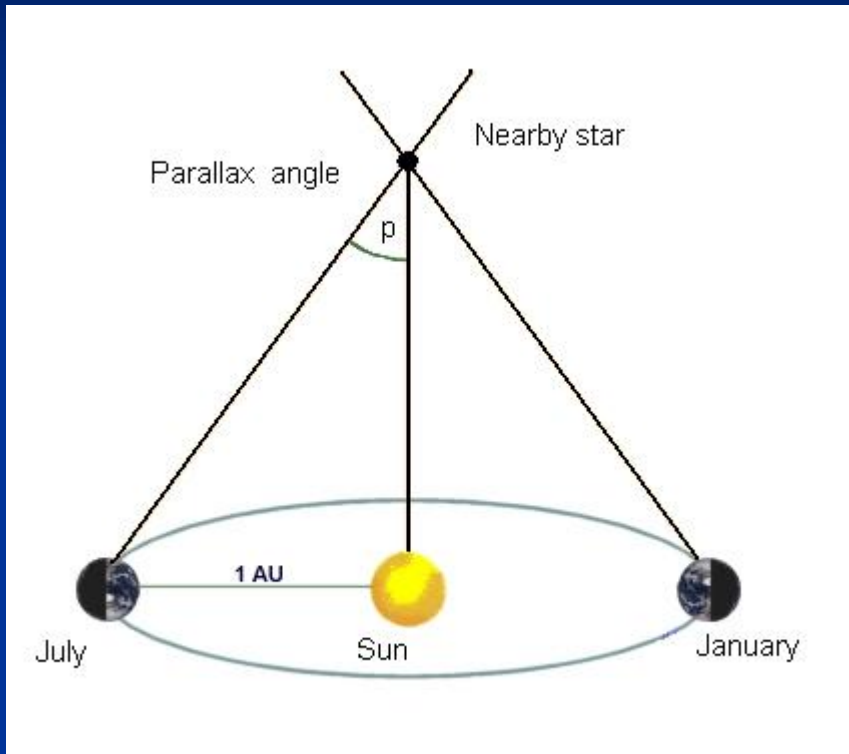


# Activité 1: Simuler la parallaxe



- Gardez votre pouce pointant vers le haut à la distance de votre propre bras.
- Continuez à regarder, tout d'abord avec votre œil gauche ouvert, puis seulement avec votre œil droit. Que voyez-vous?
- Maintenant, déplacez votre doigt à mi-hauteur jusqu'à votre nez et répétez l'observation. Que voyez-vous?

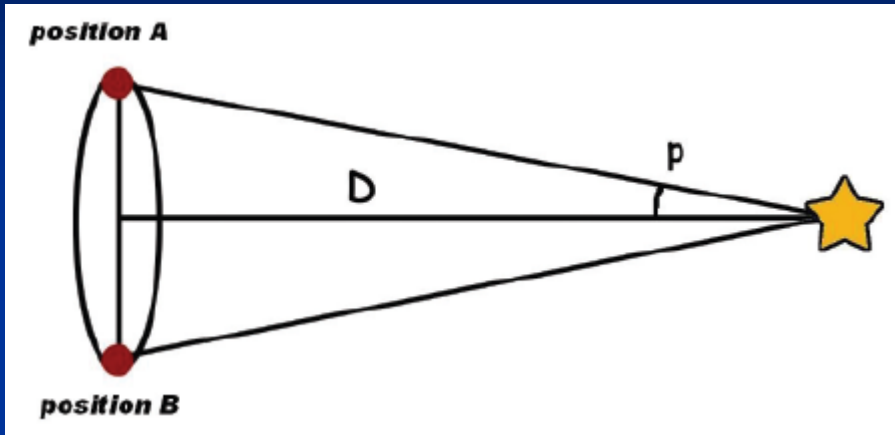
# La Parallaxe



Source: Columbia University.

- La Parallaxe est la différence apparente dans la position d'un objet vu de différents endroits.
- La position de l'étoile proche dans le ciel semble changer quand on la regarde depuis la Terre maintenant et six mois plus tard.
- Ainsi nous pouvons mesurer la distance aux étoiles proches.

# La Parallaxe



$$D = \frac{AB/2}{\tan p} = \frac{AB/2}{p}$$

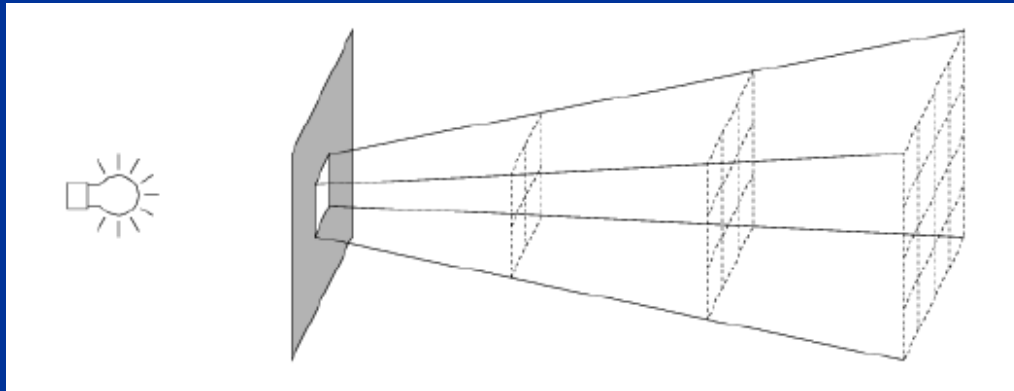
$$D \cong \frac{150\,000\,000}{2\pi/(360^\circ \times 60 \times 60)} = 30\,939\,720\,937\,064 \text{ km} = 3,26 \text{ a.l.}$$

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ a.l.}$$

$$d = 1/p$$

## Activité 2: Loi inverse du carré

Une étoile émet un rayonnement dans toutes les directions. L'intensité qui atteint une distance  $D$  est la luminosité  $L$  (puissance) divisée par la surface d'une sphère centrée sur l'étoile.



$$I = \frac{L}{4\pi D^2}$$

## Activité 2: Loi inverse du carré

Lorsque la distance est doublée, la zone correspondante est quatre fois plus grande et l'intensité lumineuse (la lumière parvenue par unité de surface) devient quatre fois plus petite.

L'intensité de la lumière est inversement proportionnelle au carré de la distance de la source.



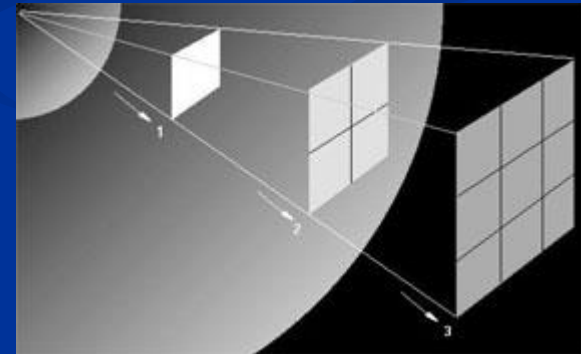
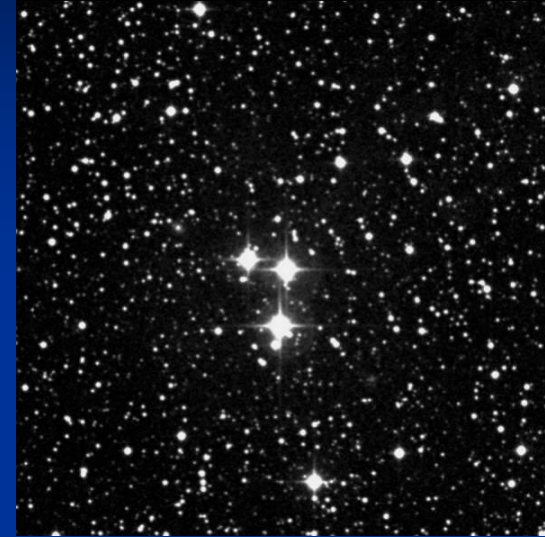
# Systeme de magnitudes

Les étoiles montrent une luminosité différente.

L'étoile la plus brillante peut être petite et proche, ou grande et distante.

L'Eclat peut être définie comme:

$$E = \frac{L}{4\pi D^2}$$





# Systeme de magnitudes

Hipparque est né à Nicaea (maintenant connu comme Iznik, Turquie) en 190 avant JC. On croit qu'il est mort à Rhodes, en Grèce, en 120 av.

Environ 125 ans avant le Christ, il a défini le système des grandeurs.



# Systeme de magnitudes

Hipparque appelait les étoiles de 1<sup>ère</sup> grandeur les plus brillantes, les secondes les moins brillantes, et continua ainsi jusqu'aux plus faibles, qu'il appelait les étoiles de la 6<sup>ème</sup> grandeur.

Ce système, légèrement modifié, est également utilisé aujourd'hui: plus grande est la grandeur, plus faible est l'étoile.

Les astronomes se réfèrent à la luminosité d'une étoile en parlant de sa magnitude.



# Systeme de magnitudes

En 1850, Robert Pogson suggère qu'une différence de 5 grandeurs soit exactement égale au rapport de luminosité de 100/1.

C'est la définition formelle de l'échelle de magnitude utilisée aujourd'hui par les astronomes.



# Loi de Pogson

Du point de vue du calcul, il est utile d'utiliser l'échelle logarithmique pour écrire cette relation:

$$2.5 \log (E_1/E_2) = m_2 - m_1$$

Par exemple:

- Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel, a une magnitude de -1,5
- La magnitude de Vénus est -4,
- Celle de la Lune est -13, et
- Celle du Soleil est -26.8



# Magnitude apparente et absolue

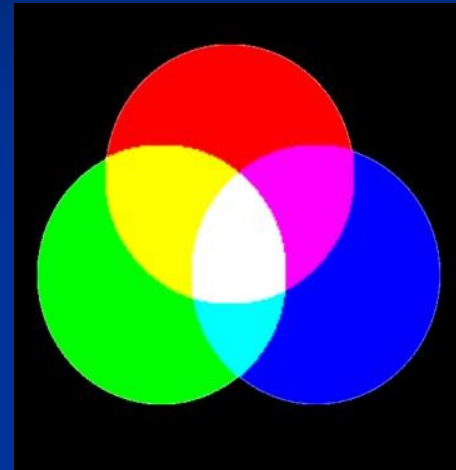
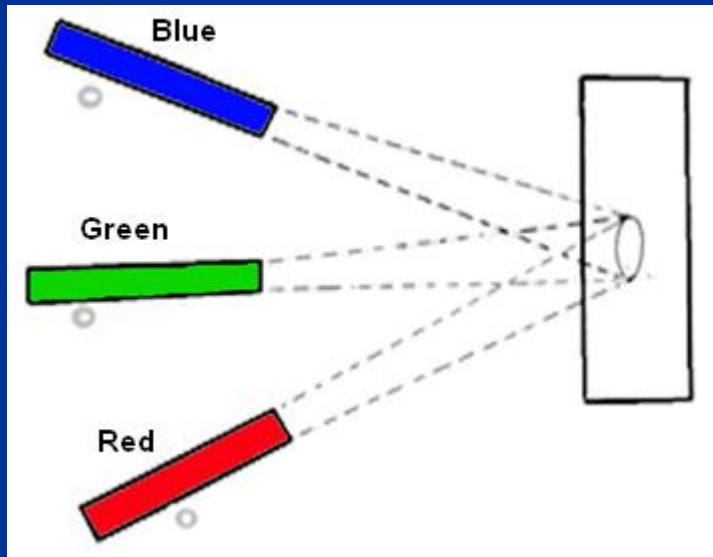
- Cependant, une étoile très puissante mais distante peut avoir la même magnitude apparente,  $m$ , comme une autre étoile plus faible, mais plus proche.
- Les astronomes ont établi le concept de magnitude absolue  $M$  que l'étoile aurait à la distance de 10 parsecs (32 a.l.) de nous.
- Avec la magnitude absolue, nous pouvons maintenant comparer la «brillance réelle» de deux étoiles, ou son équivalent, sa puissance ou sa luminosité.
- La relation mathématique entre  $m$  et  $M$  est:

$$M = m + 5 - 5 \log d$$

Où " $d$ " est la distance réelle de l'étoile

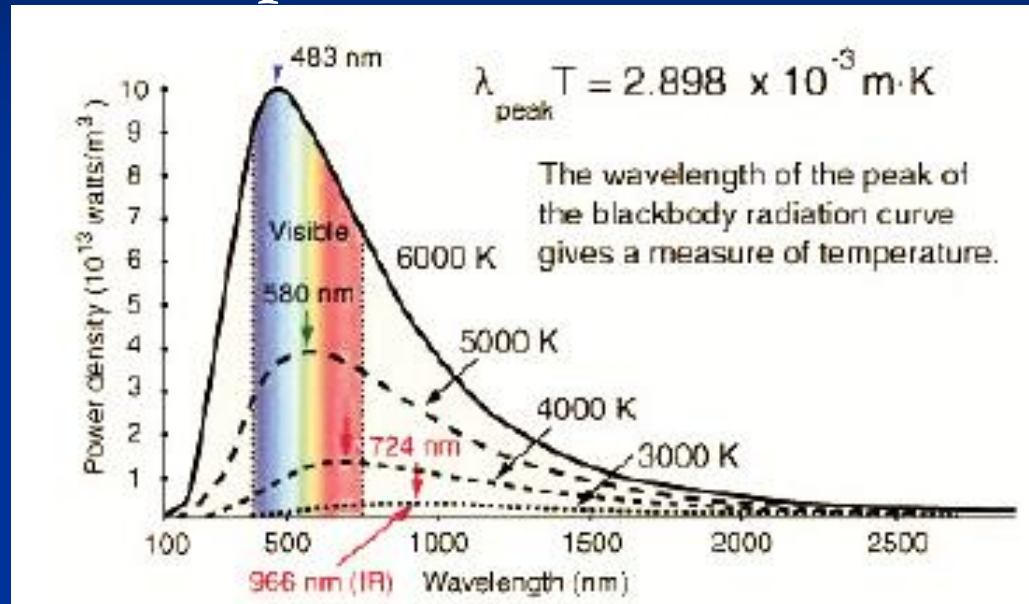
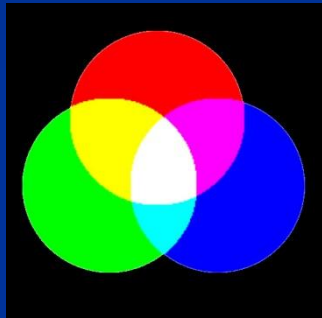


# Activité 3: couleurs stellaires



# Activité 3: Couleurs stellaires

Les étoiles montrent différentes couleurs en fonction de leurs températures

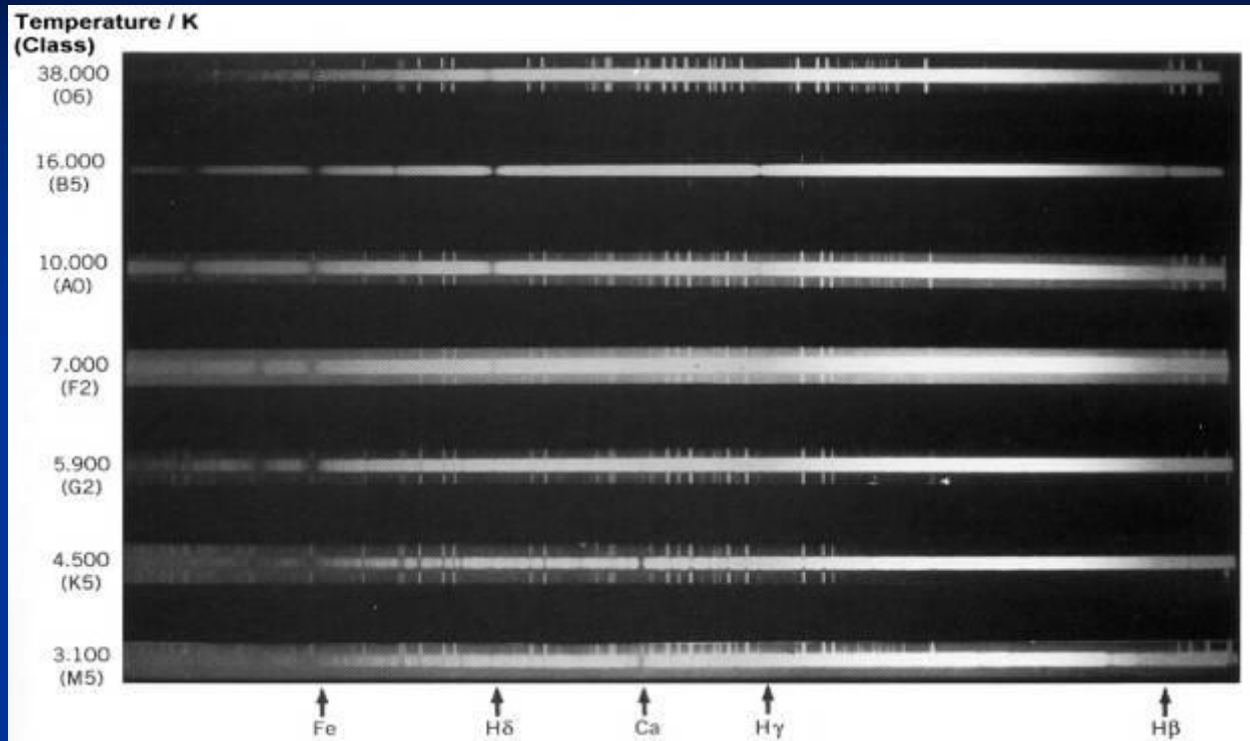


Les étoiles de température intermédiaire présentent une émission maximale en lumière verte, mais elles émettent également beaucoup de lumière rouge et bleue, le résultat est une moyenne des longueurs d'onde visibles et l'addition de toutes les couleurs du spectre est blanche.

Voilà pourquoi il n'y a pas d'étoiles vertes!



# Classes spectrales



Relation entre la classification spectrale, la température et la couleur des étoiles



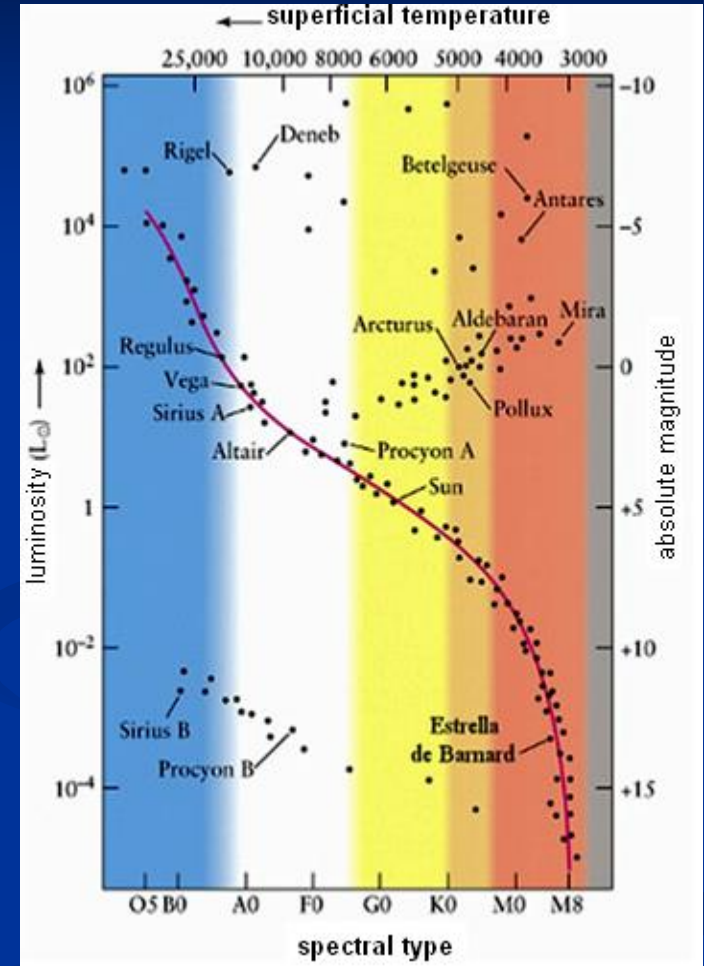


# Diagramme Hertzsprung-Russell

Les étoiles peuvent être représentées dans un diagramme empirique, en utilisant la température de surface (ou le type spectral) et sa luminosité (ou magnitude absolue).

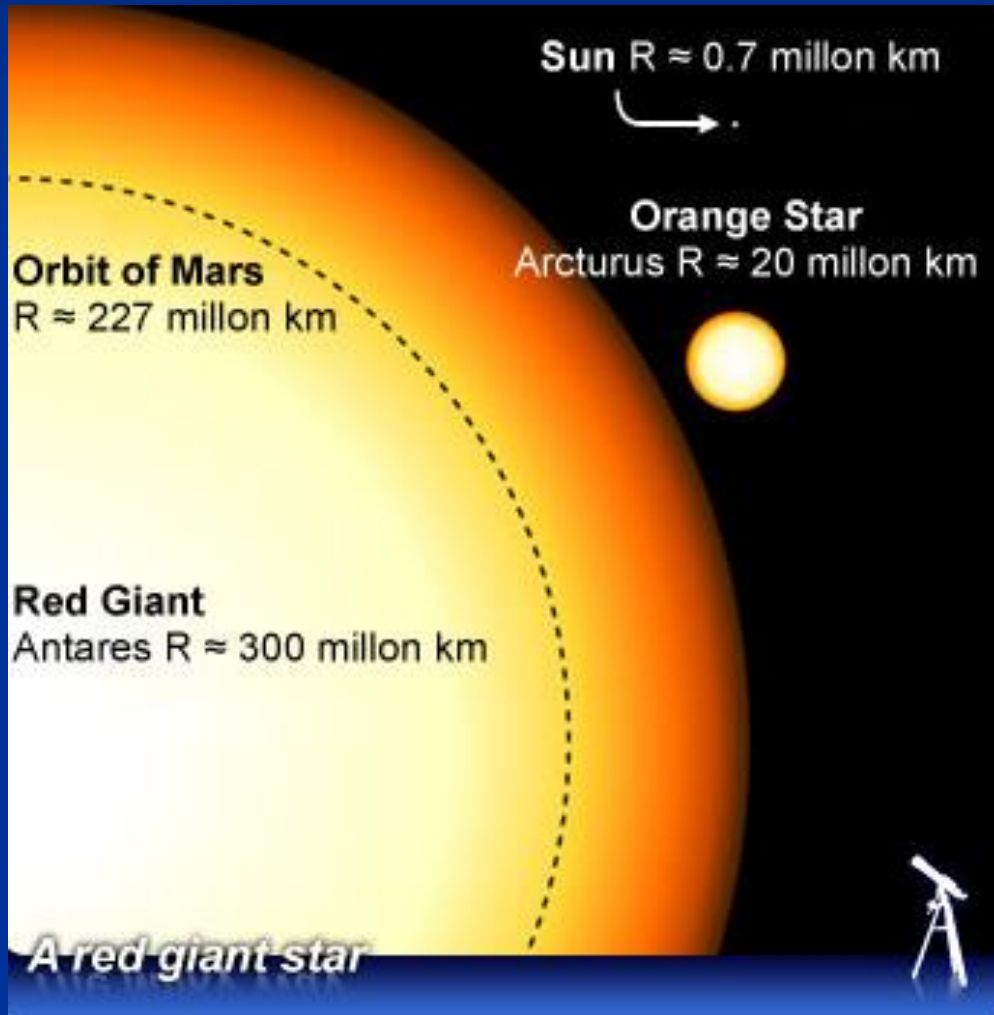
En général, les étoiles occupent certaines régions du diagramme.

Il est possible de connaître le type d'étoile et son stade évolutif.



# Évolution stellaire

## Formation d'une géante rouge



Les étoiles évoluent  
de différentes façons  
selon leurs masses

# Évolution stellaire

## Formation d'une naine blanche



Une étoile de masse faible ou intermédiaire, comme le Soleil, évolue en naine blanche, une forme de mort stellaire non catastrophique.



# Nébuleuse d'Hélix



L'objet central, petit et blanc, est une naine blanche, l'étoile morte, qui ne produit plus d'énergie par fusion elle est visible en raison de sa très haute température.



# Nébuleuse l'Oeil du Chat



La nébuleuse l'Œil du Chat est une nébuleuse planétaire d'une grande beauté. Ici vous pouvez voir la photo dans la région visible (à gauche, télescope spatial Hubble) et les rayons X (à droite, télescope Chandra).

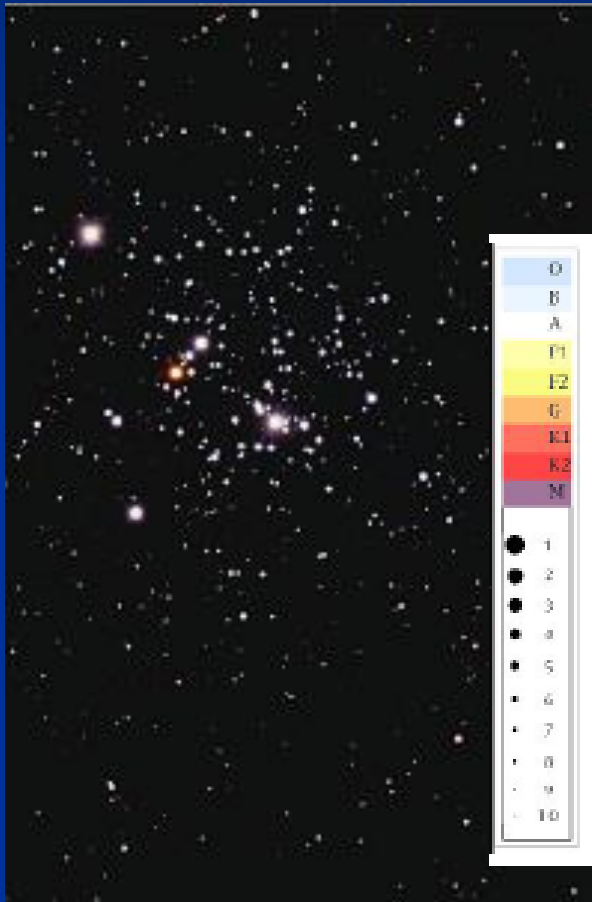


# Activité 4: L'âge des amas ouverts

Vous pouvez déterminer l'âge d'un groupe stellaire en comparant son diagramme HR avec d'autres diagrammes d'amas dont les âges sont connus.



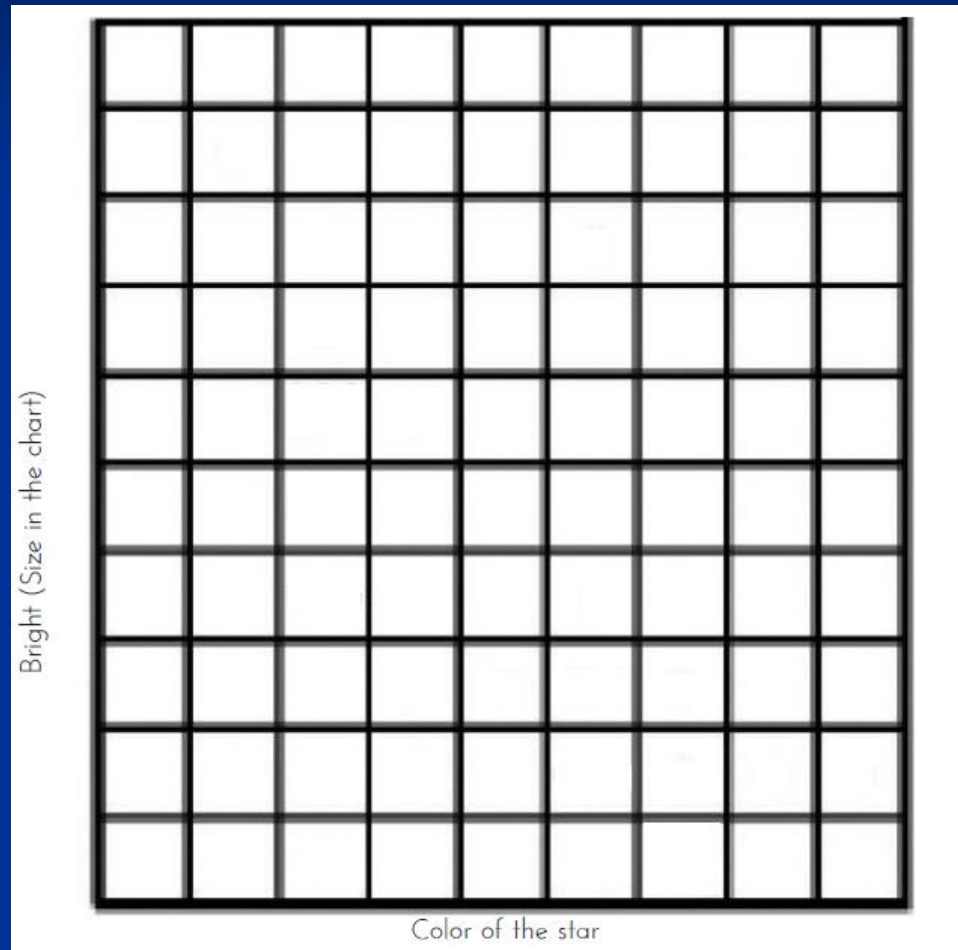
# Activité 4: L'âge des amas ouverts



- Dessinez un carré de 4 cm de côté centré dans l'amas.
- Mesurer l'éclat de l'étoile en la comparant aux points du guide.
- Estimer la couleur de l'étoile à l'aide du guide des couleurs pour comparaison.

# Activité 4: L'âge des amas ouverts

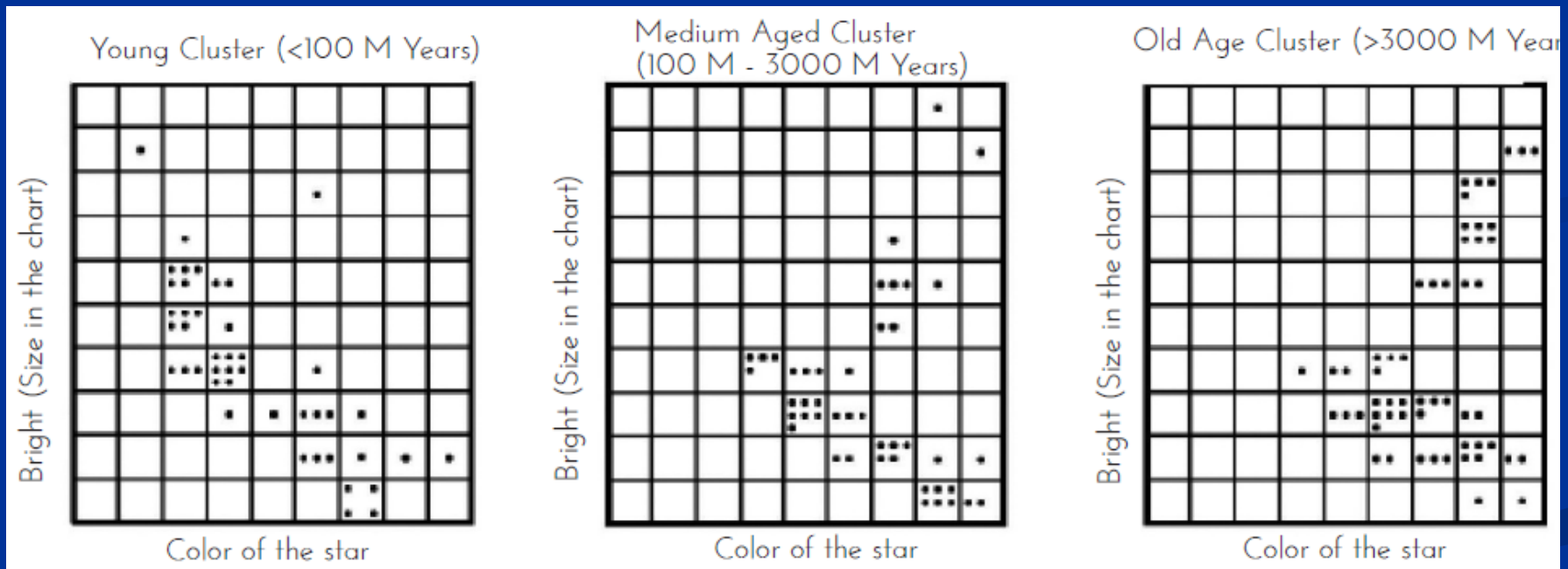
- Localisez cette étoile dans la grille à droite.
- Répétez la même chose avec les autres étoiles.



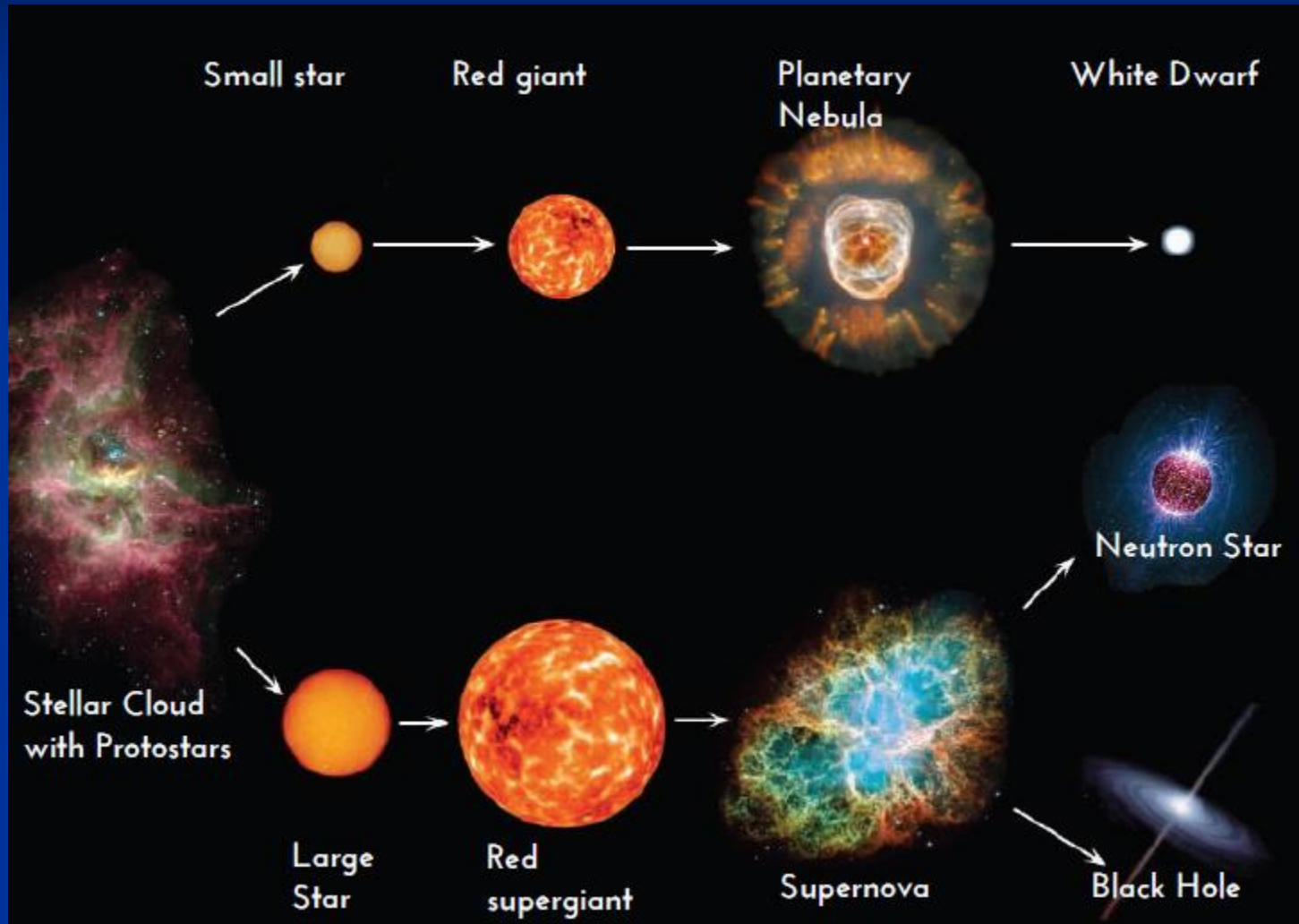


# Activité 4: L'âge des amas ouverts

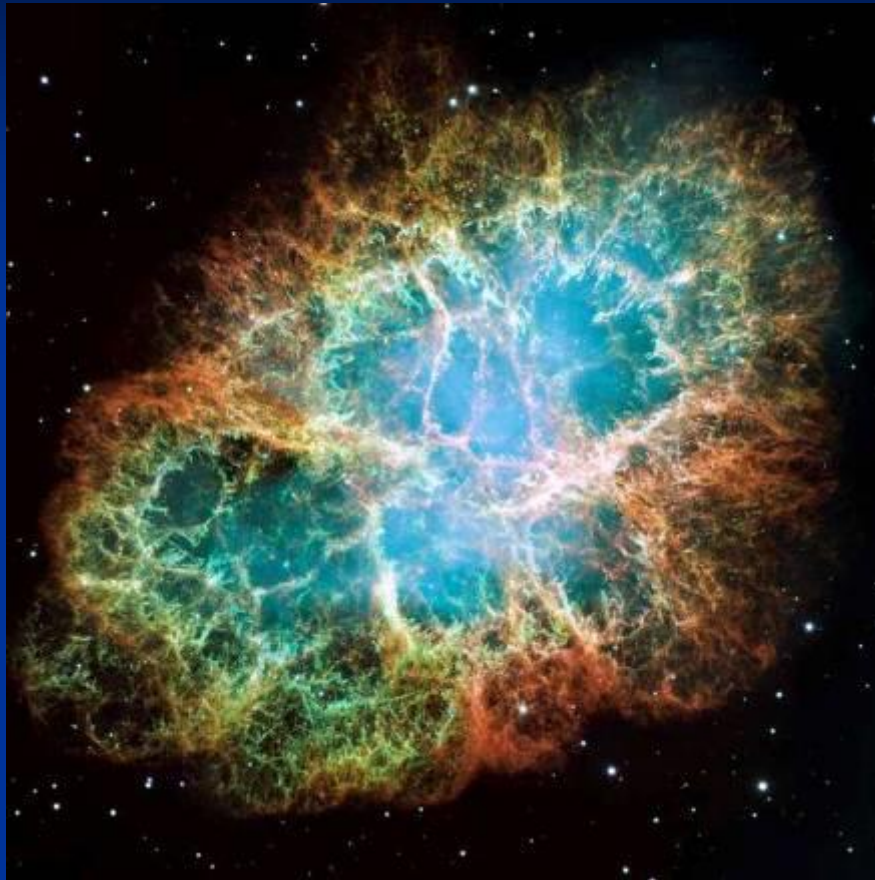
Comparer le diagramme obtenu avec ceux ci-dessous. Quel âge a t-il?



# Relation entre la masse et la mort des étoiles



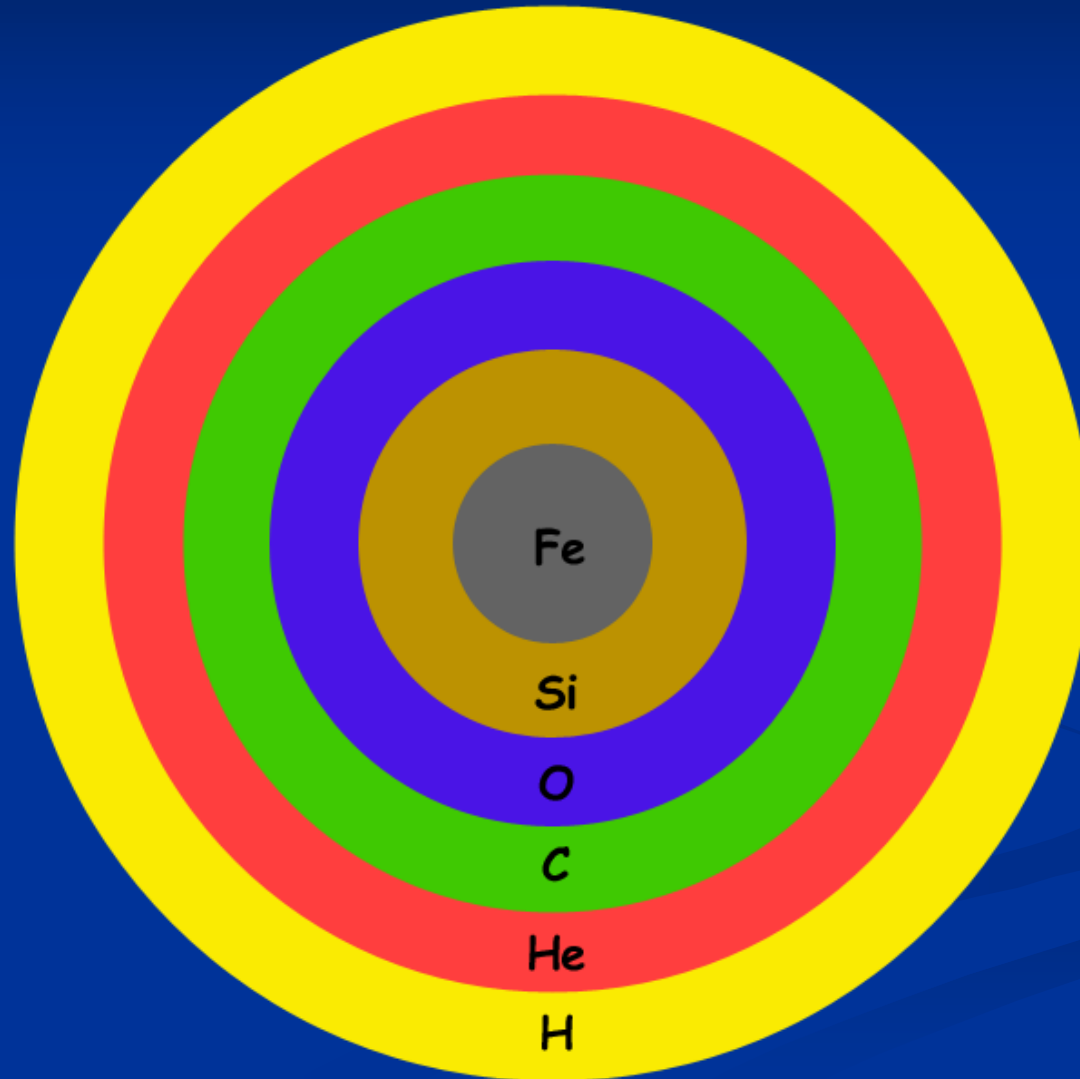
# La mort des étoiles massives

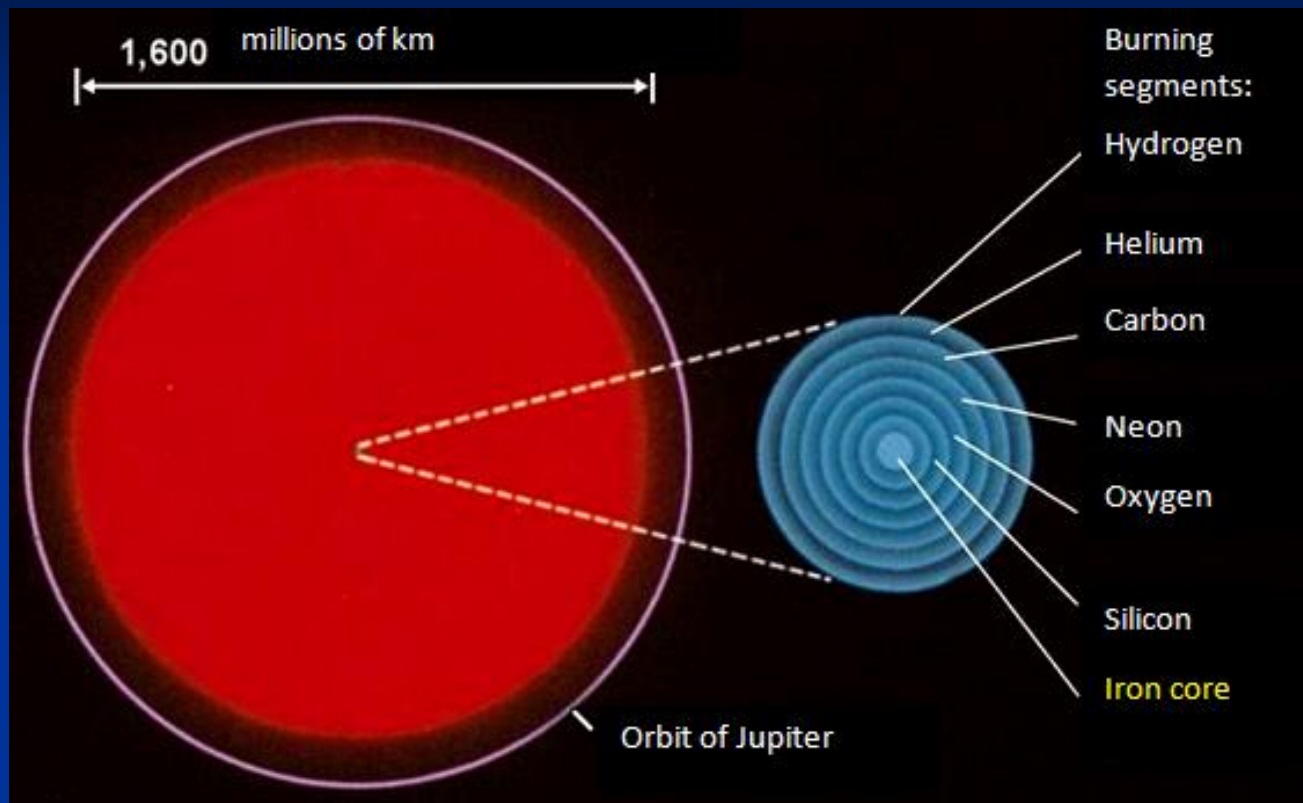


M1: La nébuleuse du crabe dans la constellation du Taureau, est le reste de la supernova observée en 1054.



# Etoile prête à exploser en supernova





Caractéristiques d'une étoile prête à  
explorer en supernova

# Une étoile de 20 masses solaires dure:

- 10 millions d'années brûlant de l'hydrogène à l'intérieur de son noyau (séquence principale).
- 1 million d'années brûlant de l'hélium
- 300 ans brûlant du carbone
- 200 jours consommant de l'oxygène
- 2 jours consommant du silicium :  
l'explosion de la supernova est imminente.



# Supernova 1987A



La supernova 1987 A, a été observée en 1987 dans le Grand Nuage de Magellan. Le nuage est à 168 000 a.l: la lumière nécessaire depuis, pour atteindre la Terre



# Supernova 1987A 10 ans plus tard



Le matériel éjecté après l'explosion s'éloigne à grande vitesse de l'étoile.

Cette photo de SN 1987A a été prise par le télescope spatial Hubble en 1997.







Exemples de supernova dans une galaxie éloignée. En moyenne, dans chaque galaxie se forme une supernova par siècle.

Dans la Voie lactée, il n'y a pas de détections de supernova au cours des 400 dernières années.



# Activité 5: Simulation de l'explosion de la supernova

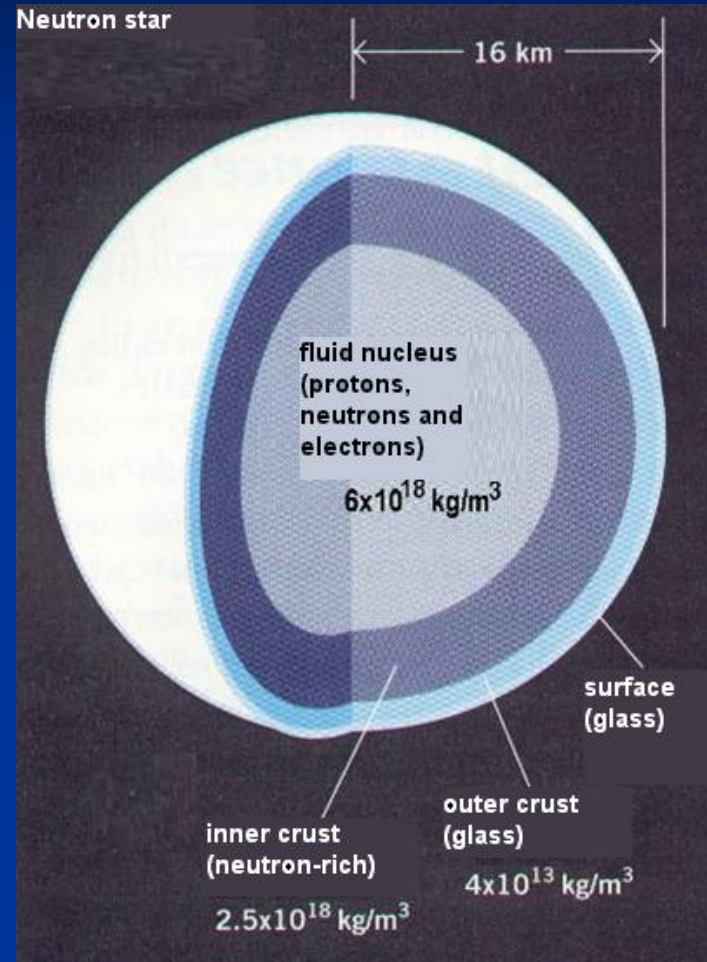
Quand une étoile explose comme une supernova, les atomes légers des couches extérieures tombent sur des atomes plus lourds intérieurs, et ils rebondissent sur le noyau solide.



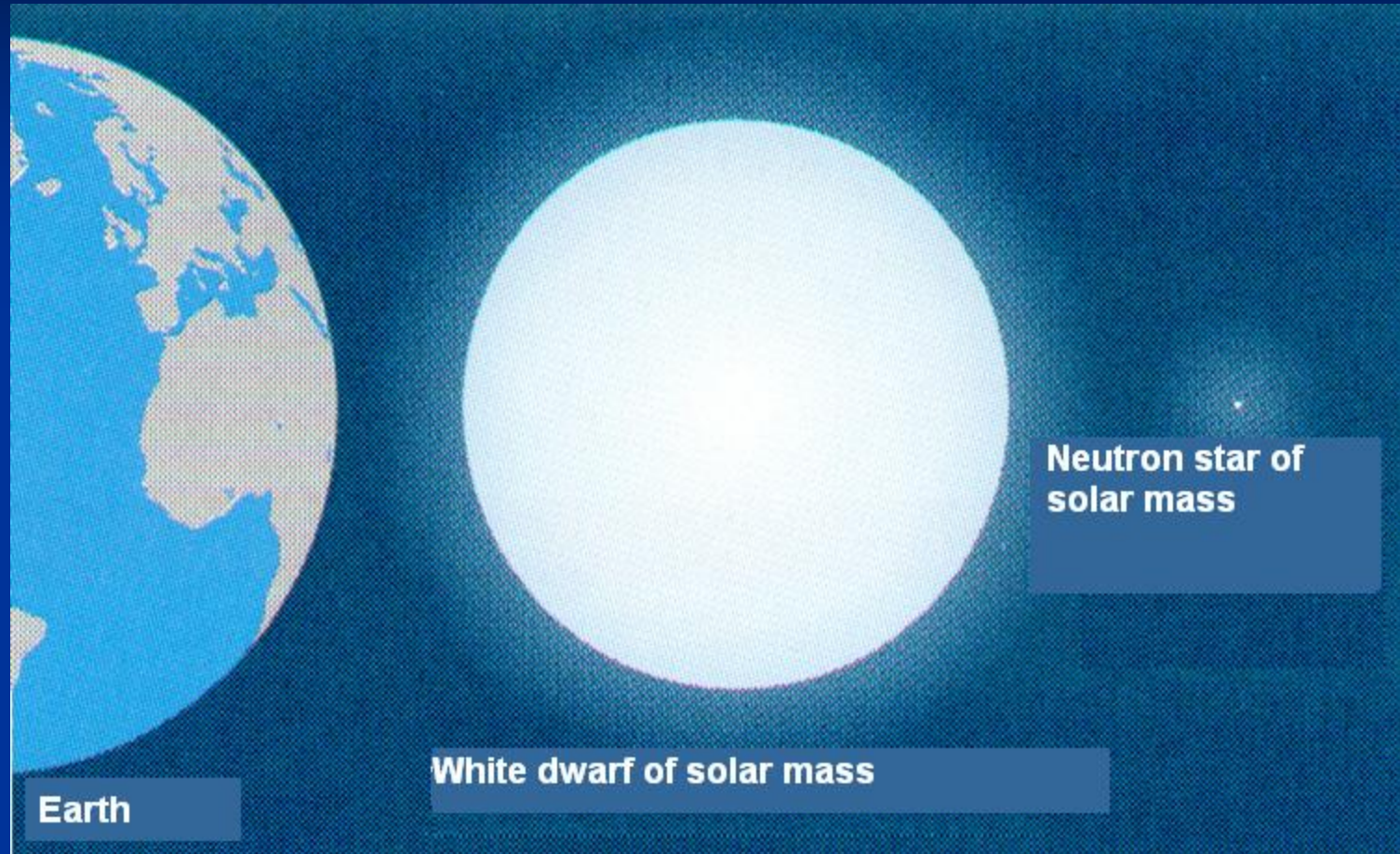
Dans ce modèle, le sol représente le noyau solide de l'étoile à neutrons, le basket-ball serait un lourd atome rebondissant, qui pousse l'atome lumineux qui vient derrière, représenté par la balle de tennis.

# Etoiles à neutrons

Une autre forme de mort stellaire sont les étoiles à neutrons ou les pulsars

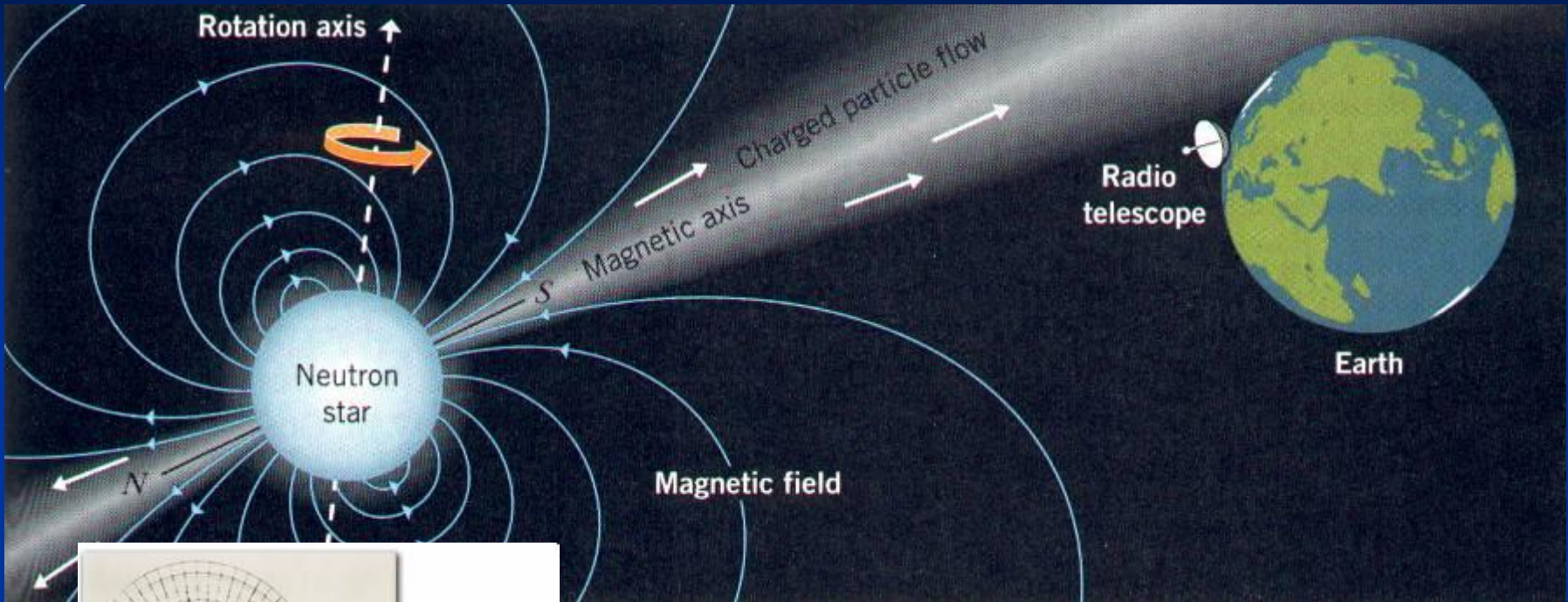


# Étoiles à neutrons



Comparaison des tailles

# Pulsars



Comment le rayonnement émis par un pulsar est vu de la Terre.

Jocelyn Bell, la découvreuse des pulsars.



# Activité 6: Simulation d'un pulsar

Un pulsar est une étoile à neutrons, très massive, et tournant rapidement. Il émet un rayonnement mais la source n'est pas entièrement alignée avec l'axe de rotation, de sorte que l'émission tourne comme un phare. Si elle est orientée vers la Terre, ce que nous voyons est un rayonnement variable avec une période de plusieurs fois par seconde



montage



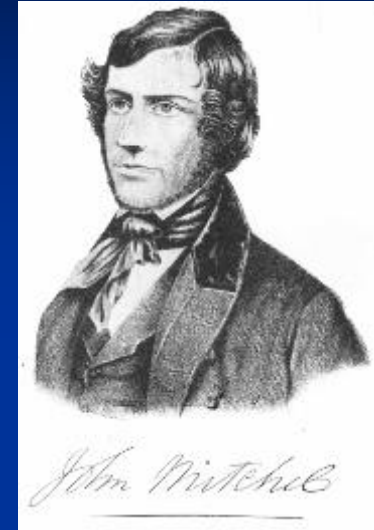
tournant



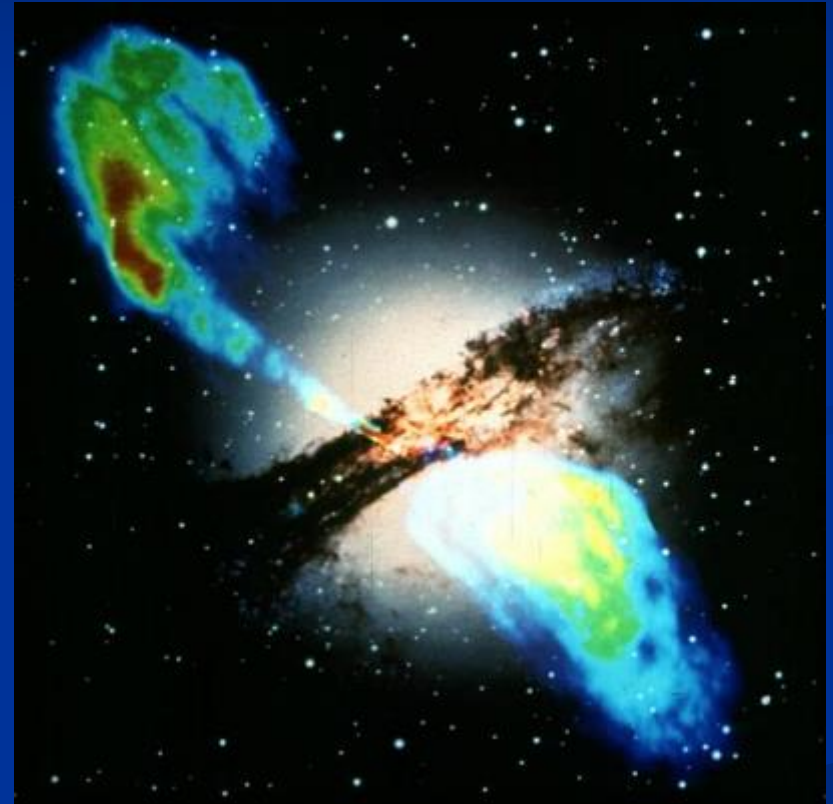
# 3<sup>ème</sup> forme de mort stellaire: Trous noirs

John Mitchell et Simon Laplace ont proposé la possibilité de l'effondrement gravitationnel des objets super massifs en fin de vie.

Ils ont appelé ces objets des trous noirs, étant invisibles dans la gamme optique, puisque leur force gravitationnelle est si grande que rien ne peut leur échapper, pas même la lumière.



# Évolution stellaire: trous noirs



Il y a des trous noirs super massifs au centre des galaxies



# Activité 7: Simulation de la courbure de l'espace et d'un trou noir

Il est possible de simuler la courbure de l'espace déterminé par un trou noir à l'aide d'un tissu élastique (Lycra) et d'un ballon d'eau.



La trajectoire de la balle de tennis n'est pas une ligne droite mais une courbe.

# Activité 7: Simulation de la courbure de l'espace et d'un trou noir

Le filet élastique, vendu en pharmacie, peut également être utilisé.

Si on desserre le filet élastique, le puit est plus grand et il simule un trou noir.



**Merci beaucoup pour  
votre attention!**