

Les étoiles

Formation et caractéristiques

Les étoiles naissent dans des gigantesques nuages de gaz et de poussières : les nébuleuses. Pendant des millions d'années, ces nébuleuses vont s'effondrer sous l'effet de leur propre gravité. Le gaz et la poussière n'y étant pas distribués de manière parfaitement uniforme, vont apparaître çà et là des "grumeaux" de matière, essentiellement composés d'hydrogène et de poussière interstellaires.

A ces endroits, la densité croît très vite et la température monte en conséquence. (Il faut savoir qu'en vertu de la loi des gaz, plus la densité est grande, plus la température est haute). Le processus de formation stellaire dure environ 20 millions d'années. Lorsqu'au cœur de ce "grumeau stellaire" la température atteint une dizaine de millions de degrés, l'étoile "s'allume" et débute alors la fusion de l'hydrogène en hélium.



Véritable pouponnière d'étoiles, la nébuleuse d'Orion ; à gauche vue d'ensemble et à droite des disques protostellaires (des embryons d'étoiles), au sein de cette nébuleuse.

Au sein d'une nébuleuse, les étoiles ne naissent pas individuellement, mais par groupes, constitués de quelques dizaines à quelques centaines d'étoiles, appelés amas ouverts.

Une étoile est donc une énorme boule de gaz, plus précisément de plasma. Au cours de sa vie normale, l'hydrogène qui est en son cœur va fusionner en hélium.

A leur naissance, les étoiles ne possèdent pas toutes la même taille et la même couleur. Ces deux critères sont déterminants pour les caractéristiques et la durée de vie de ces dernières.

La couleur d'une étoile nous renseigne sur sa température de surface. Les étoiles bleues sont des géantes possédant une température de surface très élevée, de l'ordre de 30000°C. Du fait de leur taille, leur durée de vie est assez courte : quelques dizaines de millions d'années. Mais ce sont des étoiles extrêmement rares représentant moins de 1 % de la population stellaire.

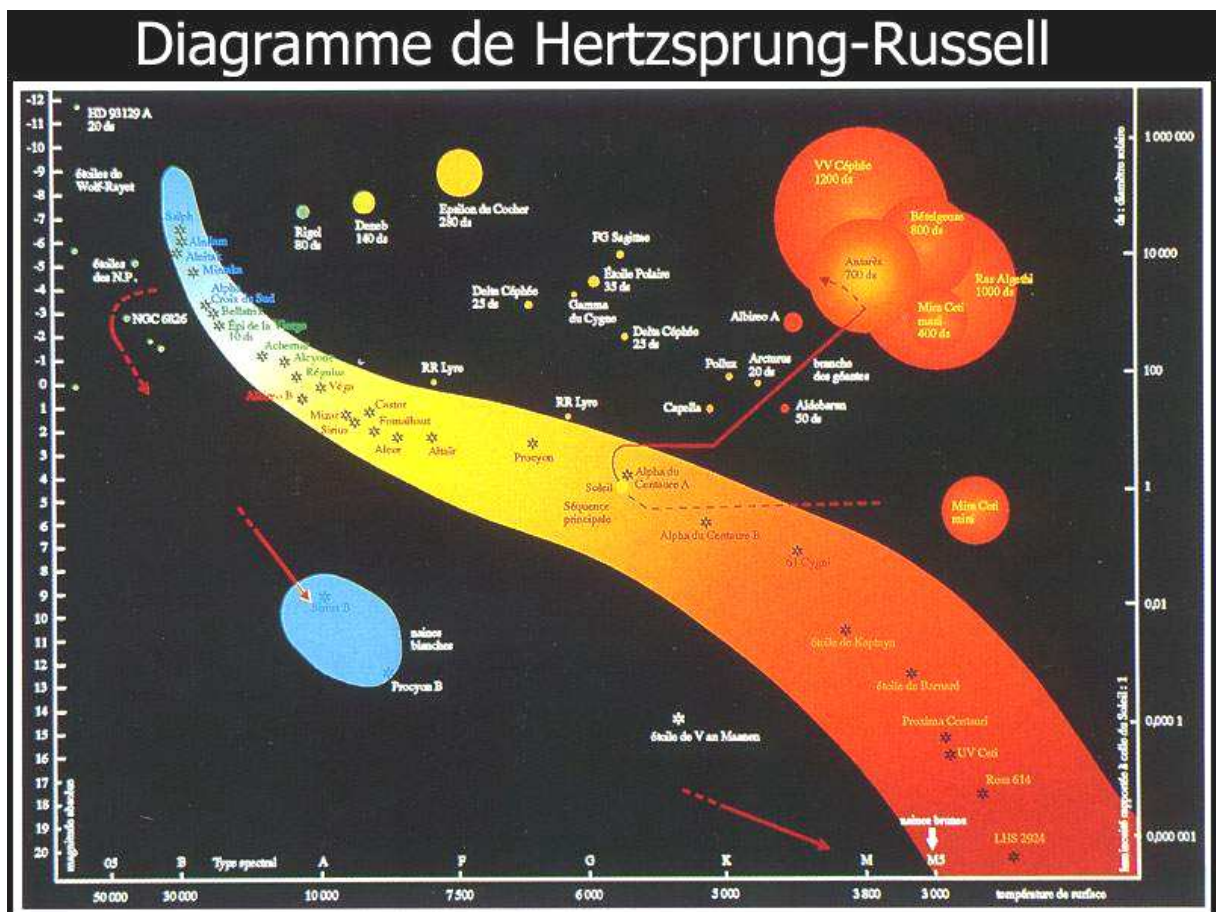
Ensuite, par ordre décroissant de température, viennent les étoiles blanches, jaunes, oranges et rouges (environ 3500 °C).

Ces deux dernières catégories représentent près de 90 % de la population stellaire. Les étoiles rouges sont de petites étoiles (diamètre environ 1/10 de notre Soleil), dont la durée de vie se compte en dizaines de milliards d'années.

En effet, la durée de vie d'une étoile est liée à sa masse à sa naissance. Plus elle est importante, plus elle fusionne de grosses quantité de gaz ; sa durée de vie sera donc brève.

Les différentes étoiles

En 1913, lorsque Hertzsprung et Russell découvrirent que les différents types d'étoiles obéissaient à une relation masse-luminosité et purent apprécier leur évolution dans le diagramme Hertzsprung-Russell, qu'ils venaient d'inventer, ils n'imaginaient pas encore les retombées que leurs découvertes allaient provoquées en astrophysique. Implicitement ils obligeaient les astronomes à repenser l'évolution stellaire alors à ses balbutiements.



Ce diagramme montra que la répartition des étoiles n'est pas due au hasard : leur situation résulte de leur évolution et pour cette raison le diagramme Hertzsprung-Russell est un formidable outil de compréhension de l'évolution stellaire.

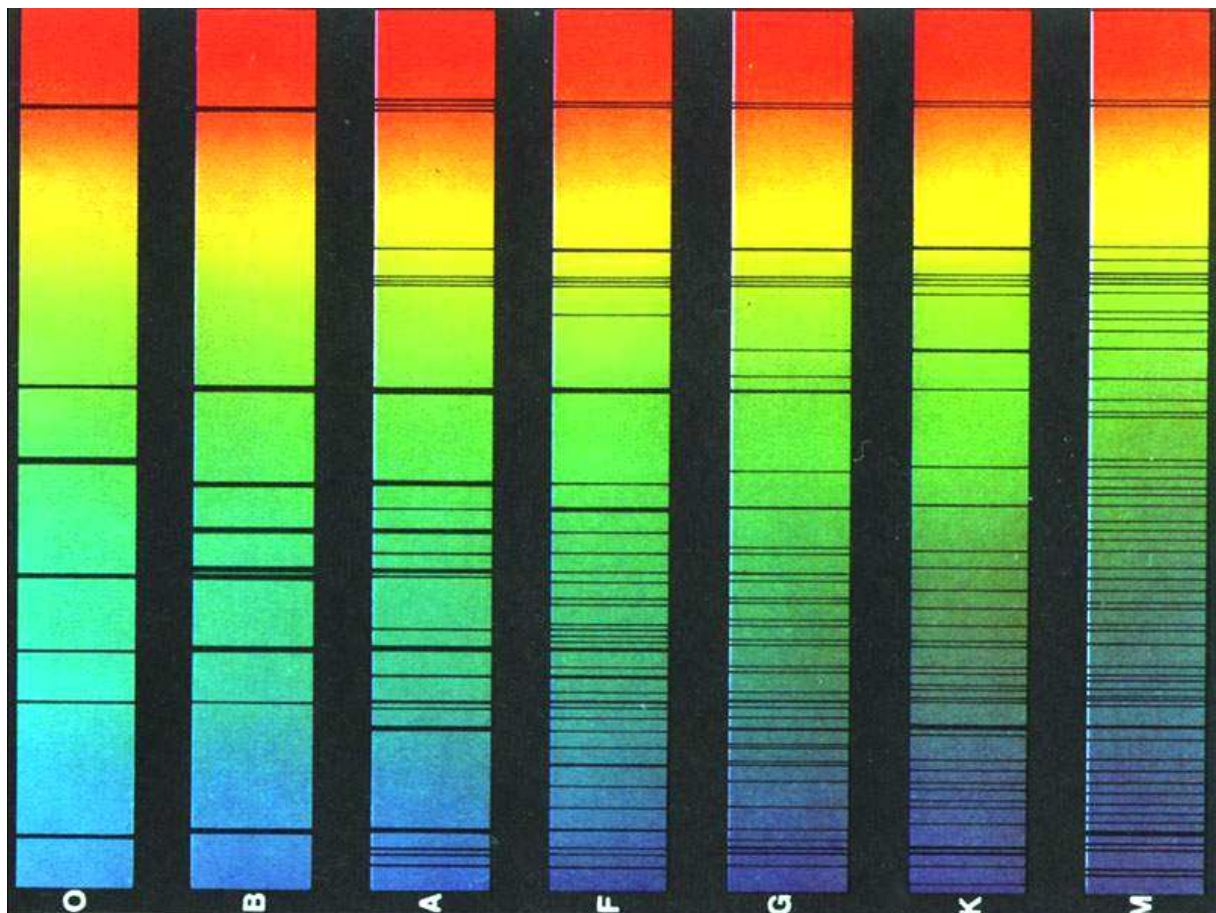
D'autre part, il apparaît que la plupart des étoiles sont regroupées sur une bande étroite, en diagonale, appelée séquence principale ou série principale. Lors de sa vie « normale »

une étoile est située dans cette séquence principale. Ce n'est qu'à la fin de sa vie qu'elle va en sortir pour rejoindre le groupe des géantes et éventuellement des naines blanches.

Au début du XX^{ème} siècle, les astronomes qui disposaient de nombreux spectres d'étoiles, s'aperçurent que qu'il était possible de classer ces étoiles en plusieurs catégories : le type spectral. Ils ordonnèrent les étoiles en 7 classes principales désignées par les lettres O, B, A, F, G, K, M. Les étoiles de types O étant les plus chaudes et les M, les moins chaudes. Au sein de chaque classe, il fut rapidement nécessaire de faire une subdivision décimale afin de rendre compte des différences d'aspects entre les spectres d'une même famille. Ainsi le type d'une étoile sera représenté sous la forme suivante : A0, A1, A2... ou encore G1, G2, G3...

Si bien qu'une étoile de type A9 aura des caractères plus proches de ceux du type B0.

Pour expliquer le comportement des étoiles et leur diversité, l'astrophysique ne peut plus se contenter des principes de la physique classique et de la mécanique newtonienne. Le cadre expérimental actuel nécessite l'introduction de concepts plus délicats à maîtriser. Ils sont basés sur les lois de la physique quantique et de la Relativité qui complètent les lois traditionnelles dans des conditions physiques extrêmes. L'élaboration de modèles appropriés au rayonnement des supernovae, des pulsars et des trous noirs souligne l'enrichissement mutuel de toutes les sciences à travers l'astrophysique.



Classes de luminosité des étoiles

Selon W.W.Morgan et P.C.Keenan

IaO, Ia+ =	Hyper-supergéante
Ia =	Supergéante lumineuse
Iab =	Supergéante modérément lumineuse
Ib =	Supergéante peu lumineuse
II =	Géante brillante
III =	Géante normale
IV =	Sous-géante
V =	Séquence principale

L'évolution des étoiles

Masse initiale de l'étoile (en masses solaires, Mo)	30 Mo	10 Mo	3 Mo	1Mo	0,3 Mo
Luminosité (Soleil = 1) Pendant séquence principale	10.000	1.000	100	1	0,004
Vie sur séqu. principale (en milliards d'années)	0,06	0,10	0,30	10	800
Vie comme géante rouge (en milliards d'années)	0,01	0,03	0,10	0,30	0,80
Les réactions nucléaires s'arrêtent aux noyaux de	fer	silicium	oxygène	carbone	hélium
Phénomène terminal	supernova	supernova	nébuleuse planétaire	vent stellaire	vent stellaire
Masse éjectée	24 Mo	8,5 Mo	2,2 Mo	0,3 Mo	0,01 Mo
Nature	trou noir	étoile à neutrons	naine blanche	naine blanche	naine blanche
Masse	6 Mo	1,5 Mo	0,8 Mo	0,7 Mo	0,3 Mo
Densité (g/cm³)	5×10^{14}	3×10^{15}	2×10^7	10^7	10^6

La mort des étoiles

En fait, une étoile va synthétiser de nombreux éléments les uns après les autres. Mais plus les atomes sont complexes, plus la température du cœur, nécessaire à leur fusion est grande. Le Soleil, par exemple, est trop petit pour pouvoir un jour atteindre de très hautes températures et il ne pourra donc pas synthétiser d'éléments plus lourds que le carbone.

A ce moment, après avoir gonflé en géante rouge, le cœur de notre étoile se sera condensé en un astre très dense et très chaud : une naine blanche. (c'est un astre de la taille de la Terre et de la masse du Soleil.) Les couches externes seront expulsées autour de la naine blanche, pour donner ce que l'on appelle une nébuleuse planétaire ou annulaire. Mais rassurez-vous, le Soleil contient assez d'hydrogène pour tenir encore cinq milliards d'années...

C'est le sort que subissent toutes les étoiles ayant une masse inférieure ou égale à notre Soleil.

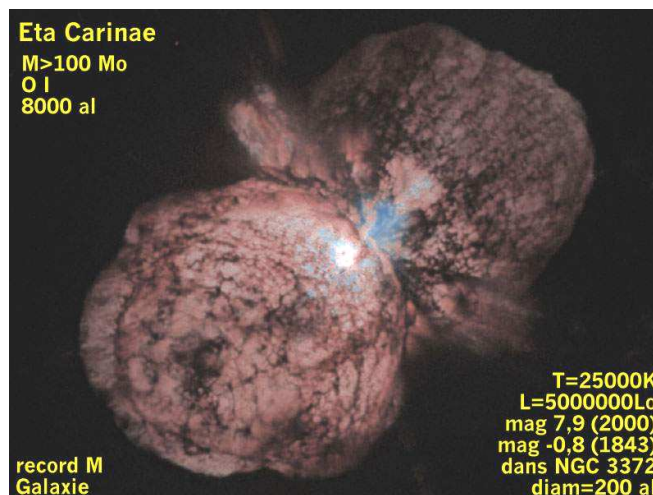
Nébuleuse annulaire de Lyre M57



Nébuleuse planétaire de la Tête de Clown



Les très grosses étoiles, en revanche, vont vivre une fin beaucoup plus tourmentée. Lorsqu'elles dépassent une dizaine de masses solaires, la température en leur cœur peut suffisamment s'élever pour aller jusqu'à la synthèse du fer, qui est l'élément le plus stable de tous et qui ne peut fusionner.



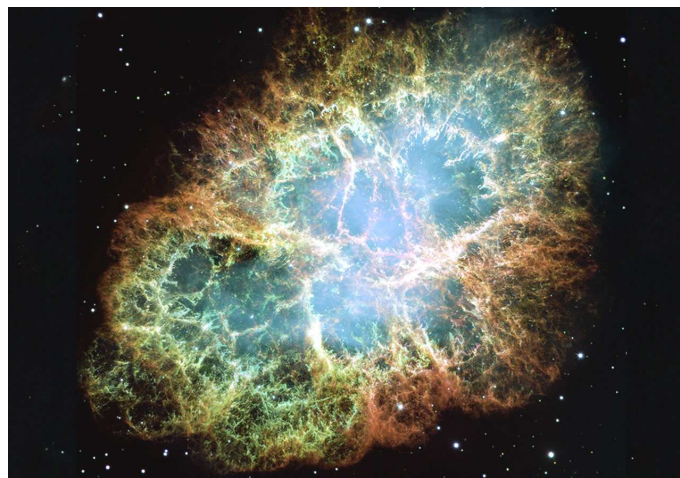
Dès lors, il n'y a plus de réactions nucléaires et plus rien n'empêche la gravité de prendre le dessus. L'étoile s'effondre alors sur elle-même, les couches externes rebondissent sur son cœur dans une gigantesque explosion appelée supernova.

Cette explosion provoque la fabrication de tous les éléments existants, jusqu'à l'uranium, qui vont être essaimés dans l'espace environnant. Les éléments qui nous composent sont donc synthétisés dans ces étoiles et c'est à ce titre que, comme dit un homme célèbre, nous sommes des enfants des étoiles.

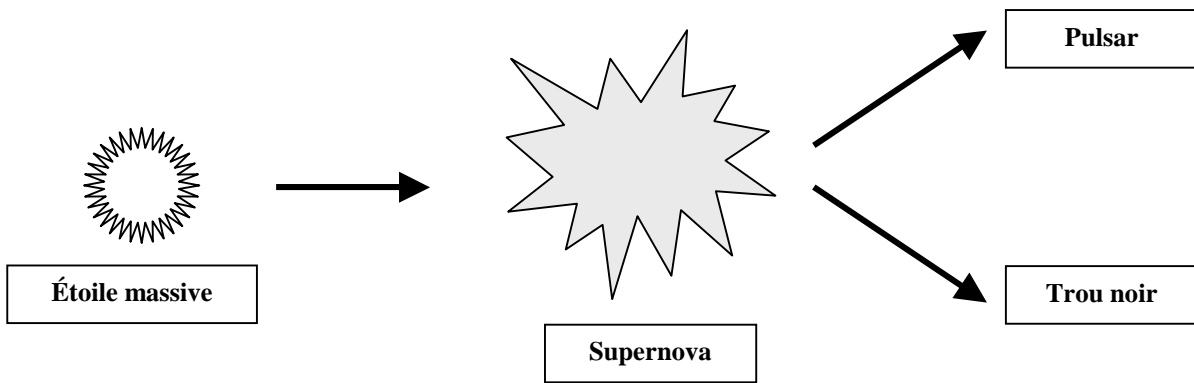
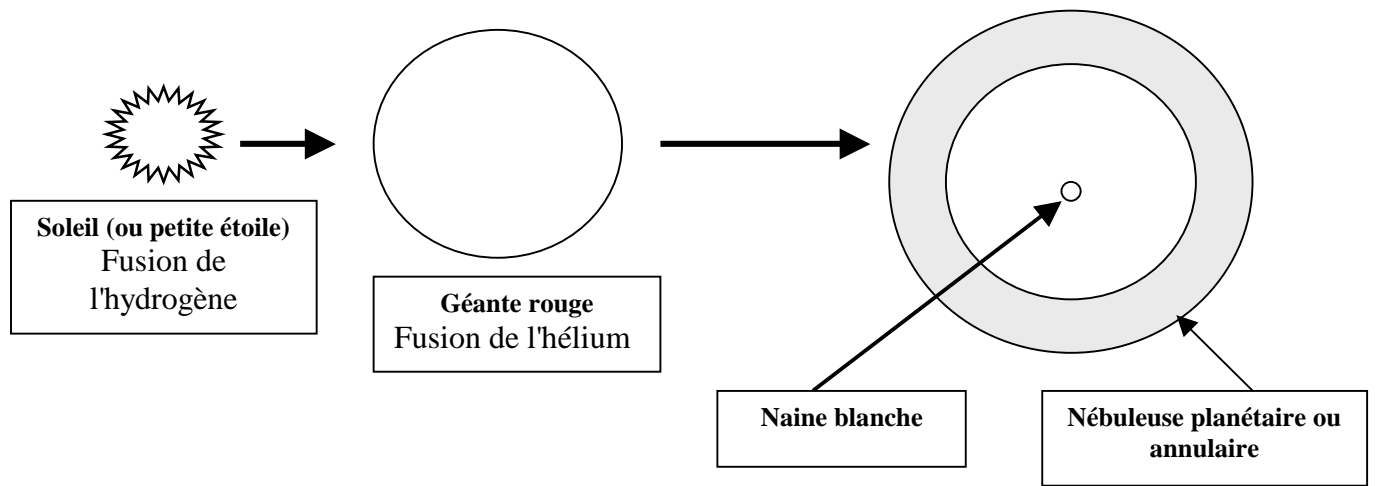


Supernova observée en 1987 dans le Grand Nuage de Magellan (l'étoile la plus brillante sur la seconde photo)

Le cadavre qui en résulte est plus dense qu'une naine blanche, c'est une étoile à neutrons, ou un pulsar. Si l'étoile originelle est vraiment très massive, elle peut générer un trou noir, astre si dense que la vitesse de libération à sa surface est plus grande que la vitesse de la lumière. (La vitesse de libération est la vitesse qu'il faut atteindre pour échapper à l'attraction gravitationnelle d'un astre. Dans un trou noir, même un photon n'est pas assez rapide, cet objet ne peut donc pas briller, d'où son nom.) Enfin, pour se faire une idée de la densité du trou noir, il faut savoir que le soleil en serait un s'il mesurait 3 cm de diamètre pour la même masse.



La nébuleuse de Crabe (M1), rémanent de la supernova observée en 1054 par les Chinois. Les astronomes ont découvert un pulsar au cœur de M1.



Les deux scénarii de la mort d'une étoile suivant sa masse