

Atelier 4

Cycles stellaires et caractérisation.

Evolution des étoiles.

La combustion nucléaire au centre des étoiles se signale par l'émission en surface de celles-ci, mais selon la masse initiale de l'étoile la température au centre et donc la température externe peuvent varier beaucoup.

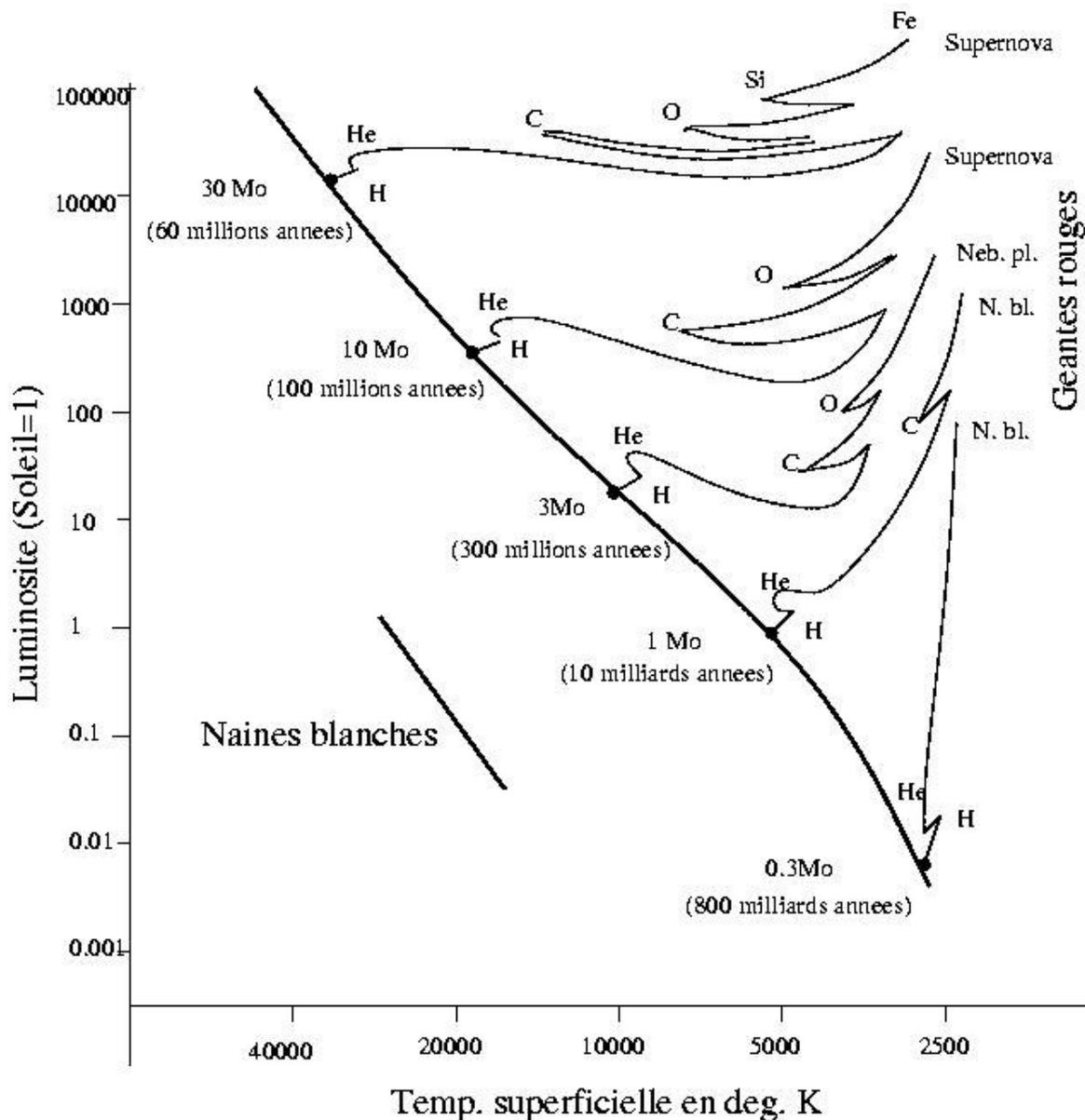
On distingue en gros deux périodes dans l'évolution d'une étoile :

- La première pendant laquelle tout l'hydrogène se consume, phase stable en général
- La seconde qui précède de près la fin où l'hélium commence à brûler, d'autres réactions nucléaires ont lieu et l'étoile entre dans une phase de géante rouge. Ensuite une partie de la matière est éjectée en gaz et poussières dans l'espace et reste un cœur compact.

En résumé on peut schématiser dans le tableau suivant les évolutions des étoiles entre leur création et leur mort, quand tout le combustible nucléaire est consommé, et le résidu final.

Masse initiale de l'étoile (masses solaires, Mo)	30 Mo	10 Mo	3 Mo	1 Mo	0,3 Mo
Luminosité(Soleil=1) Séquence principale	10000	1000	100	1	0,004
Vie sur séq. Principale (milliards d'années)	0,06	0,10	0,30	10	800
Vie en géante rouge (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
Noyau résiduel					
Nature	Trou noir	Etoile 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/cm ³)	5×10^{14}	3×10^{15}	2×10^7	10^7	10^6

Bien que ces évolutions soient un peu schématiques les étoiles réelles qui couvrent un spectre de masse continu suivent en gros ces évolutions que l'on peut représenter sur un diagramme de luminosité en fonction de la température. Ce diagramme est appelé diagramme de Hertzsprung-Russell, ou plus brièvement :H.R.



Expérimentalement les mesures sont dispersées autour de ces courbes théoriques car les étoiles observées ne sont pas toutes au même stade d'évolution et chacune garde son individualité, mais ce diagramme permet à partir de la mesure de la luminosité et de la couleur dominante du spectre d'avoir une estimation de la masse de l'étoile.

Classification spectrale des étoiles.

On peut constater que les séquences d'étoiles couvrent tout le spectre d'émission visible mais chaque étoile en plus d'être spécifiée par sa température moyenne peut aussi l'être par les raies sombres d'absorption de son spectre caractéristiques de sa composition, de son âge, de son origine (1^{ère} ou 2^{ème} génération). C'est ce qui est fait par classification dite de Harvard.

Classe	Caractère de différenciation
O	Présence de raies de l'hélium ionisé
B	Présence de raies de l'hélium neutre
A	Prédominance de raies de l'hydrogène
F	Présence de raies nombreuses de métaux ionisés
G	Présence simultanée de raies de métaux neutres et de métaux ionisés
K	Prédominance de raies de métaux neutres
M	Présence de raies d'oxyde de titane

En plus de la séquence principale ci-dessus on a rajouté trois autres classes

Classe	Caractère de différenciation
W	Présence de nombreuses raies d' émission
Séquence principale	
C	Riche en raies d'absorption de molécules carbonées
S	Riches en raies d'oxyde de zirconium

On accole à cette majuscule un **chiffre de 0 à 9** qui précise davantage les caractéristiques spectrales, en particulier basé sur la présence simultanée de deux raies caractéristiques (ce n'est pas simple) On n'explicitera pas cette classification ici.

Finalement on trouve dans les catalogues les étoiles caractérisées par leur luminosité, c'est-à-dire par leur place dans le diagramme de Hertzsprung-Russell, en y adjoignant un chiffre romain de I à VII.

-
- I Supergéante
 - II Géantes brillantes
 - III Géantes
 - IV Sous-géantes
 - V Séquence principale
 - VI Naines
 - VII Naines blanches

On trouve ainsi dans les catalogues, par exemple
Sirius A1 v

Antarès M1 I
Pollux K0 III
Véga A0 V

Abondance des étoiles.

L'observation actuelle des étoiles dans notre galaxie et les galaxies proches, montre que les étoiles de faible masse sont prédominantes mais dans les galaxies plus anciennes le taux d'étoiles de grande masse était élevé, comme leur temps de vie est court elles se sont éteintes et recyclées en étoiles jeunes.

Proportion relative des types d'étoiles dans la voie lactée.

Types d'étoiles	Durée de vie	Pourcentage
Supergéantes	-	1,2 pour 1.000.000
Géantes	-	0,58 %
Série principale : O	3 Ma	0,3 pour 1.000.000
Série principale : B	15 Ma	1,16 %
Série principale : A	500 Ma	2,31 %
Série principale : F	2,5 Ga	3,47 %
Série principale : G	10 Ga	6,94 %
Série principale : K	13 Ga	10,4 %
Série principale : M	200 Ga	57,8 %
Série principale : L	>200 Ga	
Naines blanches	-	17,3 %

La Classe L a été récemment ajoutée. Elle correspond aux étoiles de masse comprises entre 0,1 Mo et 13 masse de Jupiter ($M_j = M_o/1000$) récemment découvertes : les **naines brunes**, étoiles qui n'ont jamais allumées leur hydrogène en dessous de 80 Mj, mais qui peuvent brûler leur deutérium entre 18 Mj et 80 Mj..