

# 5 LA CLASSIFICATION DES ÉTOILES

*Quelle est la masse de l'étoile Procyon, si la luminosité est de  $6,93 L_{\odot}$  et que c'est une étoile sur la séquence principale ?*



[www.flickr.com/photos/jamieball83/5426519138/](http://www.flickr.com/photos/jamieball83/5426519138/)

**Découvrez comment résoudre ce problème dans ce chapitre.**

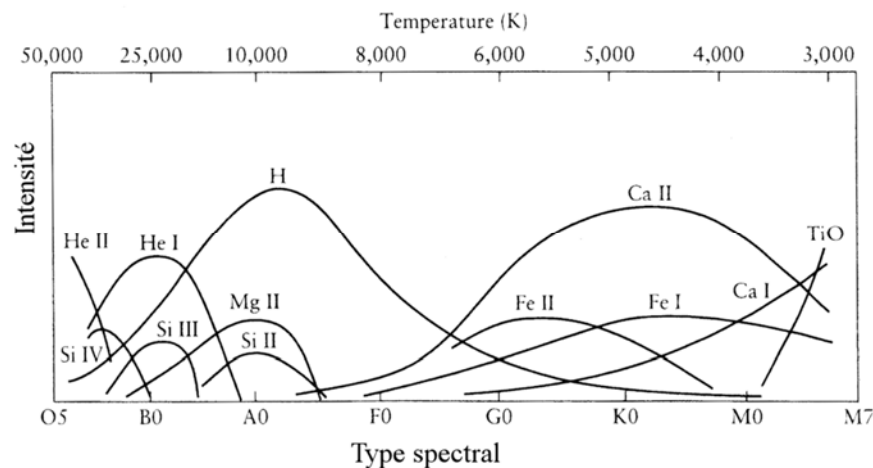
## 5.1 LE TYPE SPECTRAL

Les spectres des étoiles sont passablement différents et on chercha une façon de les classer.

Dans les années 1890, Edward Pickering et Williamina Fleming décidèrent de classer les spectres en fonction de l'intensité des raies d'absorption de l'hydrogène. Cette classification allait du type A (raies très fortes) jusqu'au type P (raies très faibles). On se rendit compte assez vite que cette classification était trop détaillée et on diminua le nombre de types. Après cette simplification, il ne restait plus que les types A, B, F, G, K, M et O.

Quelques années plus tard, on décida qu'il valait mieux classer les étoiles selon leur température de surface. C'est ce que fit une assistante de Pickering, Annie Jump Cannon, en 1901. En faisant cela, l'ordre de la classification se trouva bouleversé pour arriver à l'ordre O, B, A, F, G, K, M.

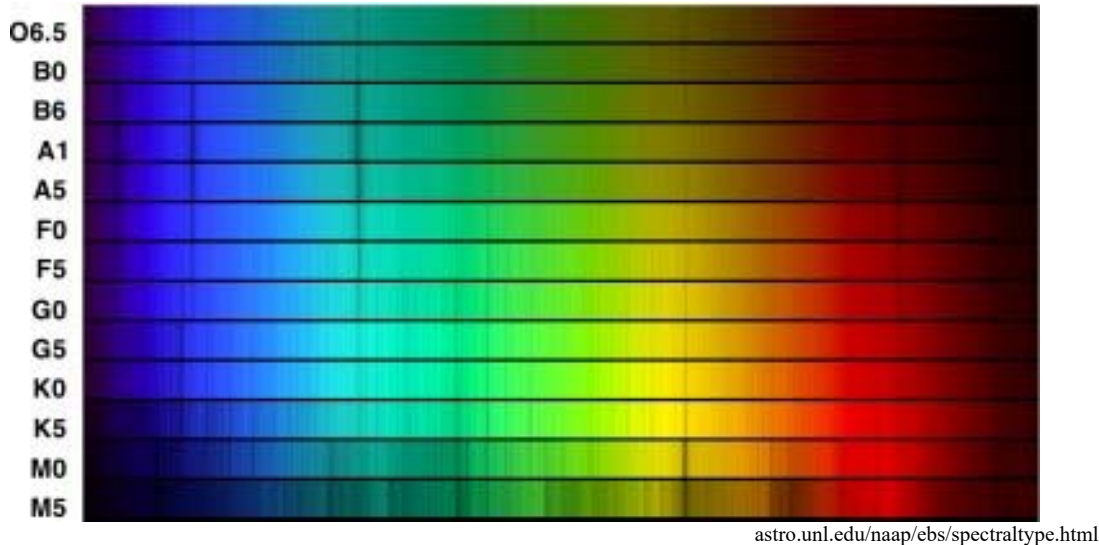
Il en est ainsi parce que l'intensité relative des raies dépend de la température de surface de l'étoile. L'intensité relative des raies d'hydrogène augmente quand on augmente la température pour atteindre leur maximum à près de 9000 K. Au-delà de cette température, l'intensité des raies diminue si on augmente la température.



[www.astro.bas.bg/~petrov/hawley99.html](http://www.astro.bas.bg/~petrov/hawley99.html)

De plus, on sépara chacune de ces catégories en 10 parties allant de 0 à 9. Par exemple, les étoiles les plus chaudes du type A sont des étoiles de type A0 et les étoiles les plus froides du type A sont les étoiles de type A9. Avec cette classification de spectre, le Soleil est ainsi une étoile de type spectral G2 alors que Sirius est une étoile de type A1.

Voici donc à quoi ressemblent les spectres des étoiles selon le type spectral de l'étoile.



Remarquez comme les raies d'absorption de l'hydrogène sont intenses pour les étoiles de type A1 et A5.

Pour se rappeler l'ordre de la classification, les anglophones utilisent la phrase suivante

**Oh Be A Fine Girl, Kiss Me**

Si vous préférez, vous pouvez vous inventer une nouvelle phrase pour vous rappeler l'ordre de ces lettres. (La plupart du temps, ceux qui en font une arrivent à une version nettement plus grivoise.)

Il arrive parfois que le spectre d'une étoile contienne des raies d'émission en plus des raies d'absorption. Dans ce cas, on ajoute un *e* au type spectral pour indiquer la présence de raies d'émission. Ainsi, si le spectre d'une étoile de type G5 contient des raies d'émission en plus des raies d'absorption caractéristiques de ce type de spectre, son type spectral sera G5e.

## 5.2 LA MÉTHODE DES ÉTOILES JUMELLES

Les chapitres précédents nous ont montré comment on peut connaître les différentes caractéristiques des étoiles. Toutefois, presque toutes ces informations découlent de la connaissance d'un élément important : la distance de l'étoile.

Il y a cependant un problème. On ne peut mesurer la parallaxe que pour des étoiles relativement près de la Terre. Avec les données actuelles, on peut connaître assez précisément les distances des étoiles qui sont à moins de 1000 al. Ça peut sembler suffisant, mais cela ne représente qu'une très petite partie des étoiles qui sont autour de nous. Comment fait-on alors pour connaître les caractéristiques des autres étoiles ?

Pour ces étoiles, on utilise la *méthode des étoiles jumelles*. On commence par étudier le spectre de l'étoile et on le compare aux spectres des étoiles dont on connaît la distance dans l'espoir d'en trouver une qui a les mêmes caractéristiques. Si le spectre est semblable, on va alors supposer que les caractéristiques de l'étoile sont identiques. On va donc supposer que cette étoile a la même masse, la même luminosité, le même rayon et la même température de surface que l'étoile jumelle. On pourra alors faire le raisonnement inverse et trouver la distance de l'étoile.

### Méthode des étoiles jumelles

Si deux étoiles ont des spectres identiques, elles doivent avoir des caractéristiques identiques.

Notons que cette idée semble être confirmée quand on compare entre elles toutes les étoiles dont on connaît la distance et les propriétés. On remarque en effet que des spectres identiques signifient que les étoiles ont des caractéristiques similaires.

### Exemple 5.2.1

Une étoile ayant une magnitude de 13,3 a un spectre identique à celui de Sirius. Quelle est la distance de cette étoile ?

Si son spectre est identique à celui de Sirius, elle doit avoir la même luminosité que Sirius, donc une luminosité de  $26,2 L_{\odot}$ . Si la magnitude est de 13,3, alors l'intensité de la lumière est

$$\begin{aligned} I &= 2,52 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} \cdot 10^{-0,4 \times 13,3} \\ &= 1,21 \times 10^{-13} \frac{W}{m^2} \end{aligned}$$

On doit donc avoir

$$\begin{aligned} I &= \frac{L}{4\pi D^2} \\ 1,21 \times 10^{-13} \frac{W}{m^2} &= \frac{26,2 \times 3,828 \times 10^{26} W}{4\pi D^2} \\ D &= 8,12 \times 10^{19} m \\ D &= 8585 \text{ al} \end{aligned}$$

Évidemment, cette méthode peut parfois réserver des surprises. Par exemple, avant l'entrée en fonction du satellite Hipparcos, on avait déterminé la distance de l'étoile Polaire avec la méthode des étoiles jumelles pour arriver à 700 al. Quand Hipparcos a fait la mesure de la parallaxe de l'étoile Polaire, on constata que la distance n'était que de 430 al...

## 5.3 LA CLASSE SPECTRALE

Il faut faire très attention en utilisant la méthode des étoiles jumelles. Parfois, les spectres se ressemblent beaucoup, mais les étoiles sont très différentes. De subtiles différences dans le spectre de l'étoile nous permettent toutefois de constater que les étoiles sont différentes.

### Les géantes

Bételgeuse et l'étoile de Barnard ont des spectres quasi identiques. Bételgeuse a un spectre de type M2 alors que l'étoile de Barnard a un spectre de type M4. Pourtant ce sont des étoiles très différentes. Leurs températures de surface sont presque identiques (autour de 3200 K), ce qui leur donne des spectres assez semblables, mais c'est là que s'arrêtent les similitudes. Les autres caractéristiques sont très différentes, comme on peut le constater sur ce tableau.

	Bételgeuse	Étoile de Barnard
<b>Masse</b>	14 ± 6 M <sub>☉</sub>	0,144 M <sub>☉</sub>
<b>Luminosité</b>	84 900 L <sub>☉</sub>	0,0034 L <sub>☉</sub>
<b>Rayon</b>	Entre 730 et 980 R <sub>☉</sub>	0,196 R <sub>☉</sub>

C'est que Bételgeuse fait partie d'une catégorie d'étoiles bien différente : *les étoiles géantes*.

Est-ce que cela signifie que la méthode des étoiles jumelles ne fonctionne pas toujours ? Pas du tout. Un examen attentif du spectre permet de distinguer les étoiles géantes des étoiles « normales ». Les géantes sont si grosses que leur densité est très faible. Cela peut se voir dans le spectre puisque les raies spectrales sont plus minces quand la densité est plus faible. Cela se produit parce qu'il y a plus d'interaction entre les atomes quand la densité est plus grande. Une interaction assez forte entre deux atomes peut modifier un peu les niveaux d'énergie et donc la longueur d'onde des raies d'absorption. Plus la densité est élevée, plus il y a de telles interactions et plus la raie est large. On a donc défini des classes spectrales selon la largeur des raies et ces classes nous indiquent si l'étoile est une géante. Les étoiles géantes ont des spectres faisant partie des classes I, II, III ou IV. (Il y a plusieurs classes pour les géantes parce qu'il y a plusieurs types de géantes.) Quant aux étoiles « normales », elles font partie de la classe spectrale V. On indique la classe spectrale après de type spectral. Ainsi, le type spectral du Soleil est G2V, alors que celui de Bételgeuse est M2I.

Environ 1 % des étoiles font partie des géantes. On verra plus loin que ce sont des étoiles en fin de vie qui fusionnent d'autres éléments en plus de l'hydrogène. La très grande luminosité des géantes fait qu'on peut les voir facilement. Même si ces étoiles ne constituent que 1 % des étoiles, 12 des 20 étoiles les plus brillantes du ciel sont des géantes. (Ce sont, dans l'ordre, Canopus, Arcturus, Capella, Rigel, Bételgeuse, Agena, Albébaran, Capella B, Spica, Antarès, Pollux et Deneb.)

### Les naines

L'étoile 40 de l'Éridan B (40 Eridani B) est une étoile peu lumineuse qui fut observée pour la première fois en 1783 par William Hershell. Comme cette étoile a une magnitude de 11,01 et qu'elle est à une distance de seulement 16,45 al, on calcula que cette étoile avait une luminosité d'à peine 0,013  $L_{\odot}$ . Selon la méthode des étoiles jumelle, la faible luminosité de l'étoile fit en sorte qu'on s'attendait alors à observer une étoile rouge et ayant une température de surface assez faible, donc une étoile de type M.

On eut toutefois toute une surprise quand Henry Norris Russell, Charles Pickering et Williamina Fleming présentèrent les résultats de leur étude du spectre de cette étoile en 1910. La température de surface de 40 Eridani B était de 16 500 K ! Normalement, les étoiles ayant une telle température de surface sont extrêmement lumineuses, ce qui n'est pas le cas de 40 Eridani B. Une température aussi élevée signifiait que l'étoile devait être très petite pour que sa luminosité soit si petite. En fait, l'étoile devait avoir approximativement la taille de la Terre.

En 1915, Walter Adams arrivait à la même conclusion pour Sirius B. L'étoile devait avoir une masse de près 1 masse solaire, tout en ayant la taille de la Terre. Bien que plusieurs astronomes de l'époque qualifient ces résultats comme étant absurdes, on venait de découvrir les *étoiles naines*. Les naines blanches ont des masses se situant en 0,17  $M_{\odot}$  et 1,33  $M_{\odot}$ , mais 80 % ont des masses se situant entre 0,42  $M_{\odot}$  et 0,7  $M_{\odot}$ .

Encore une fois, un examen détaillé du spectre permet de distinguer les naines des étoiles normales. Les spectres des naines étant assez différents de ceux de toutes les autres étoiles, on les classe dans le type spectral D (pour dégénéré, un concept qu'on verra plus loin).

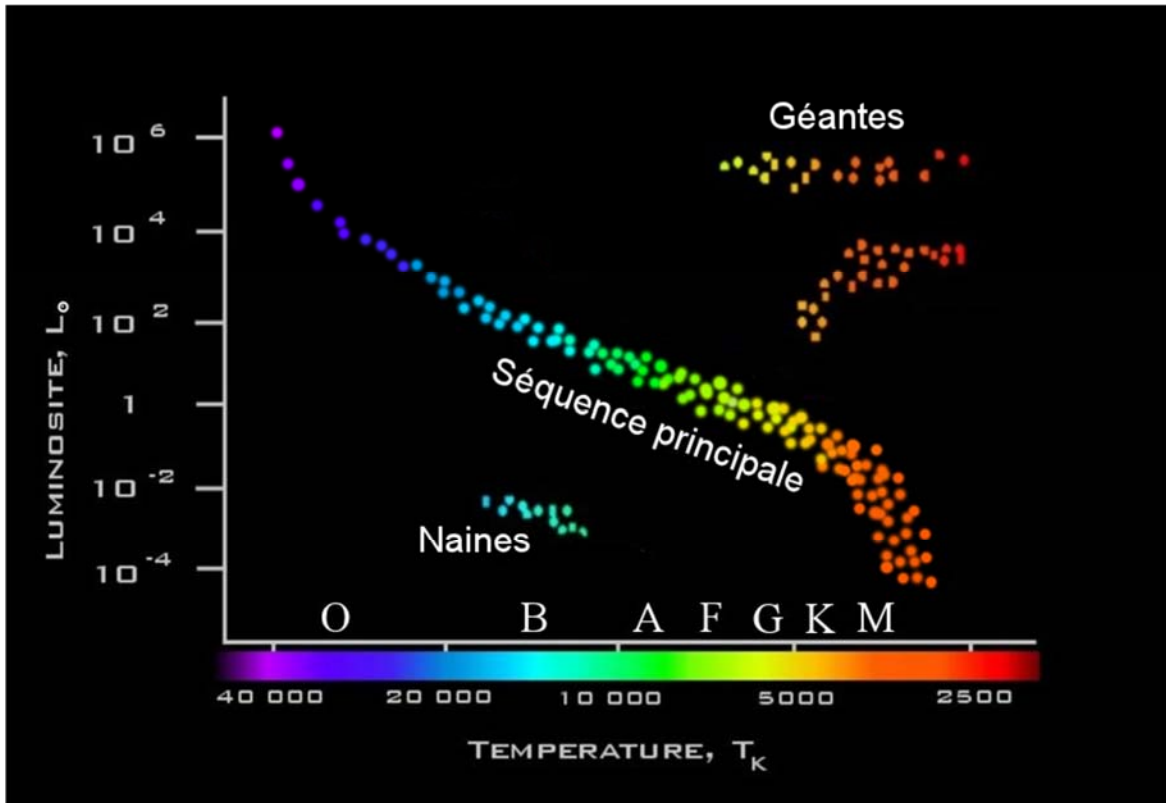
Entre 10 % et 20 % des étoiles sont des naines blanches (l'estimation est difficile, car ce sont des étoiles peu lumineuses, donc difficiles à observer). On verra plus loin que ces petites étoiles chaudes sont en fait des cadavres stellaires, c'est-à-dire des étoiles qui ne font plus aucune fusion nucléaire. La faible luminosité des naines blanche rend leur observation très difficile. En fait, aucune naine blanche n'est visible à l'œil nu.

## 5.4 LE DIAGRAMME HR

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, on voulut vérifier s'il y avait un lien entre la luminosité et la température de surface des étoiles. Ejnar Hertzsprung, un astronome amateur, publia en 1905 une table de luminosité et de température qui confirmait qu'il y avait un lien entre les deux, si on exclut les géantes (et les naines, qu'on ne connaissait pas à ce moment). Entretemps, à l'université de Princeton, Henry Norris Russell arrivait à la même conclusion. Il publia ses résultats en 1913, mais sous forme de diagramme. Le diagramme ainsi obtenu s'appelle le *diagramme de Hertzsprung-Russell* ou, plus simplement, le *diagramme HR*.

Dans ce diagramme, on retrouve la luminosité de l'étoile sur l'axe vertical et la température de surface de l'étoile sur l'axe horizontal (ainsi que le type spectral). Curieusement, la graduation est inversée sur l'axe horizontal, allant des températures plus élevées à des températures plus basses. Nous avons cette curieuse graduation parce qu'en réalité, c'était plutôt *l'indice de couleur* qui était originalement sur l'axe horizontal. Quand on transforme l'indice de couleur en température, on se retrouve avec une graduation inversée.

On place donc toutes les étoiles dont on peut mesurer la luminosité et la température de surface dans ce diagramme. On obtient alors le diagramme suivant.



On remarque alors que les étoiles ne sont pas partout dans ce diagramme. On les retrouve principalement dans 3 régions de ce diagramme.

On retrouve la plupart des étoiles (qu'on a qualifié précédemment d'étoiles « normales ») sur une bande traversant en diagonale le diagramme HR. Cette bande est la *séquence principale*. Entre 80 % et 90 % des étoiles se retrouvent dans la série principale. Nous verrons plus tard que ce sont les étoiles qui fusionnent uniquement de l'hydrogène qui se retrouvent dans la séquence principale.

Les deux autres catégories sont les naines blanches (10 à 20 % des étoiles) et les géantes (1 % des étoiles).

Comme la luminosité dépend de la température et du rayon de l'étoile, le diagramme HR nous indique aussi le rayon de l'étoile. Pour comprendre pourquoi, souvenez-vous que la luminosité de l'étoile est

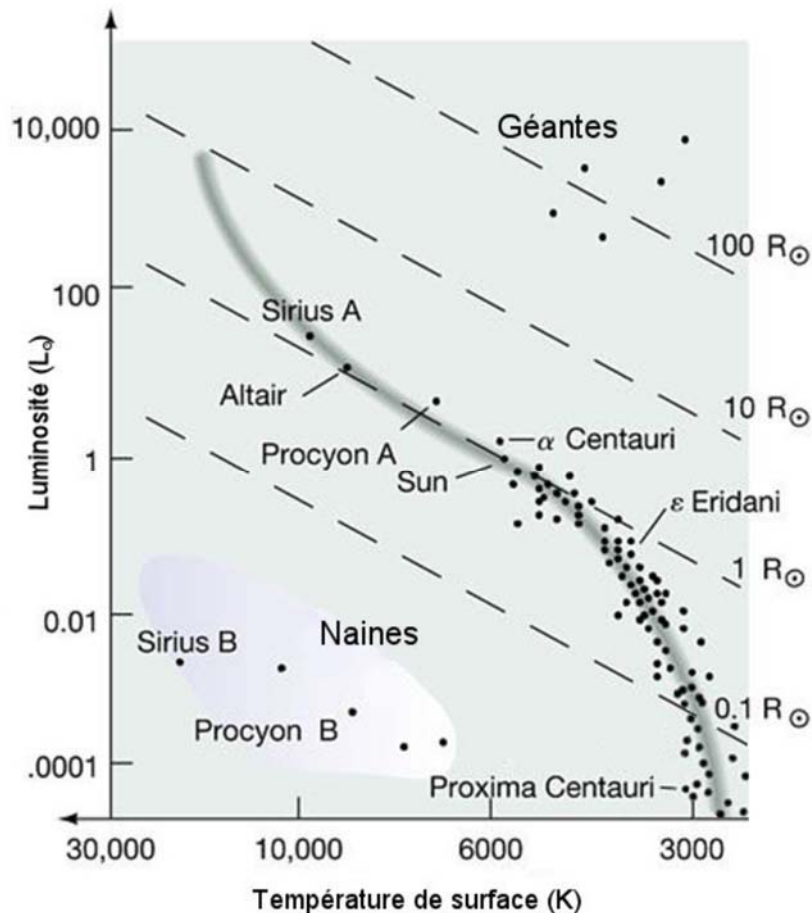
$$L = \sigma 4\pi R^2 T^4$$

Le rayon de l'étoile est donc

$$R = \frac{1}{T^2} \sqrt{\frac{L}{\sigma 4\pi}}$$

On voit que le rayon est grand pour les étoiles ayant une grande luminosité et une faible température. Cela correspond aux étoiles qui se retrouvent dans le coin supérieur droit du diagramme. C'est donc là qu'on retrouve les étoiles géantes.

On voit que le rayon de l'étoile est petit pour les étoiles ayant une faible luminosité et une grande température de surface. Cela correspond aux étoiles qui se retrouvent dans le coin inférieur gauche du diagramme. C'est donc là qu'on retrouve les étoiles naines.



[www2.astro.psu.edu/users/cpalma/astro10/class9.html](http://www2.astro.psu.edu/users/cpalma/astro10/class9.html)

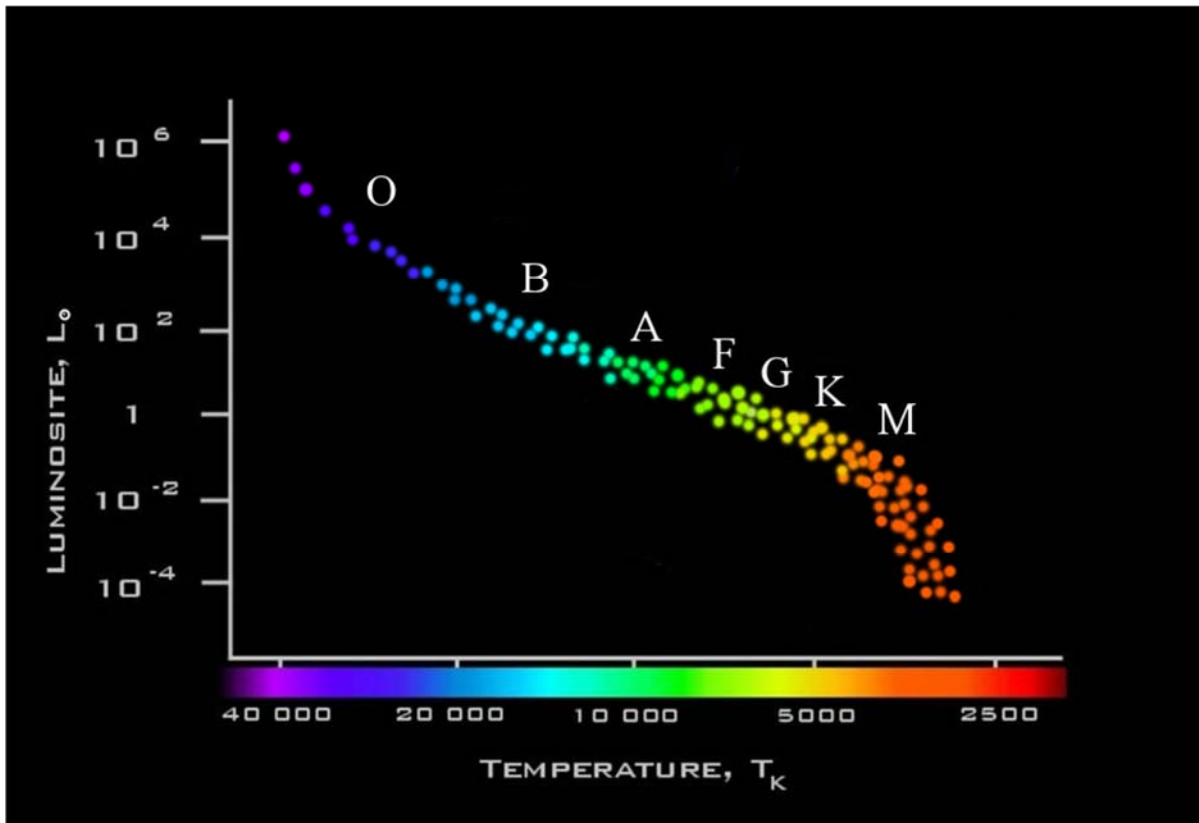


Comme environ 85 % des étoiles sont sur la séquence principale, examinons davantage leurs caractéristiques.

## 5.5 LA SÉQUENCE PRINCIPALE

### Différences selon le type spectral

En partant en haut à gauche de la séquence principale en allant vers le bas à droite, les différents types spectraux sont O, B, A, F, G, K, M.



[cosmos.ucdavis.edu/archives/2010/cluster9/KUMAR\\_SAHANA.pdf](http://cosmos.ucdavis.edu/archives/2010/cluster9/KUMAR_SAHANA.pdf)

(Les couleurs des étoiles sur ce diagramme font référence à la couleur de la lumière correspondant au maximum d'émission de spectre.)

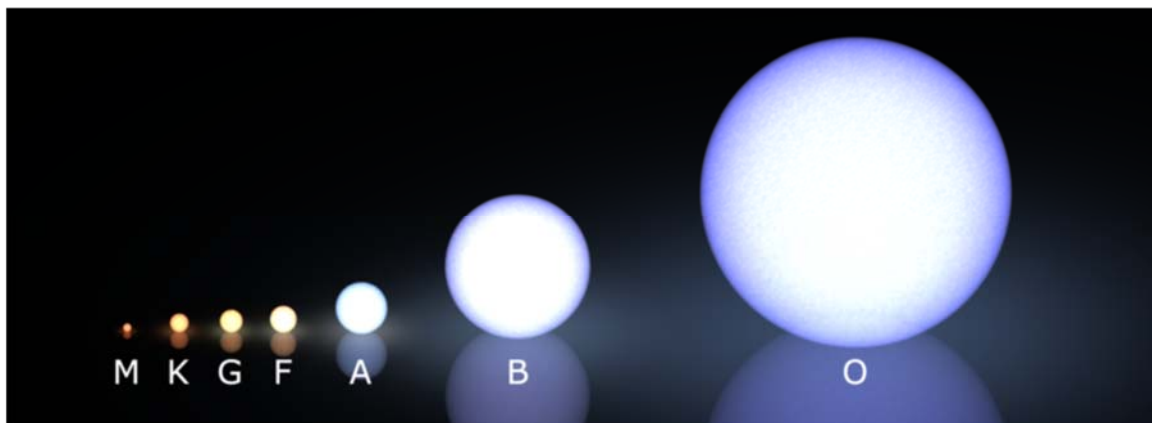
Voici un tableau montrant les caractéristiques des étoiles de la séquence principale selon le type spectral de l'étoile.

Type	Température (K)	Luminosité (L <sub>☉</sub> )	Rayon (R <sub>☉</sub> )	Masse (M <sub>☉</sub> )
O5	44 500	790 000	15	60
B0	30 000	52 000	8,4	17,5
B5	15 400	830	4,1	5,9
A0	9520	54	2,7	2,9
A5	8200	14	1,9	2,0
F0	7200	6,5	1,6	1,6
F5	6440	2,9	1,4	1,4
G0	6030	1,5	1,1	1,05
G5	5770	0,79	0,89	0,92
K0	5250	0,42	0,79	0,79
K5	4350	0,15	0,68	0,67
M0	3850	0,077	0,63	0,51
M5	3240	0,011	0,33	0,21
M8	2640	0,0012	0,17	0,085

Source : Modern Astrophysics, Carroll, Ostlie, 1996 pour la température, la luminosité et la masse

(Notez que ces valeurs sont des moyennes. Les valeurs pour une étoile spécifique peuvent varier par rapport à ces valeurs. Nous verrons pourquoi un peu plus loin.)

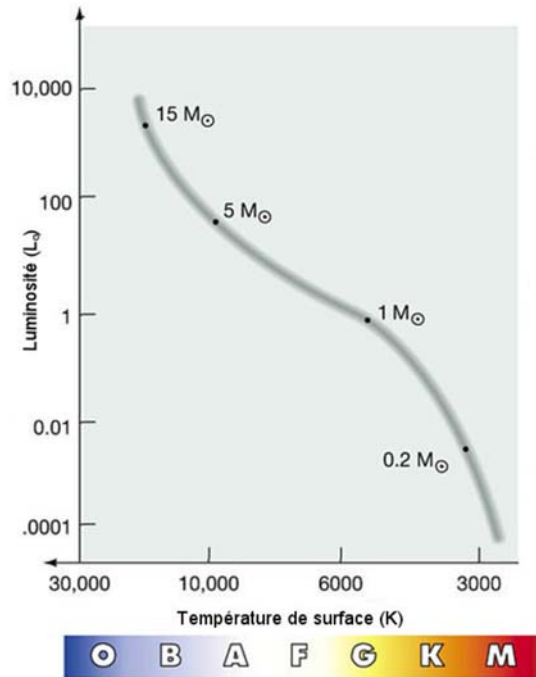
Voici donc, en comparaison, à quoi ressemblent ces étoiles de la séquence principales selon les types spectraux.



lcogt.net/facebook/types-stars

## La masse détermine presque tout sur la séquence principale

Vous pouvez également voir sur le diagramme HR ci-contre comment varie la masse de l'étoile sur la séquence principale.



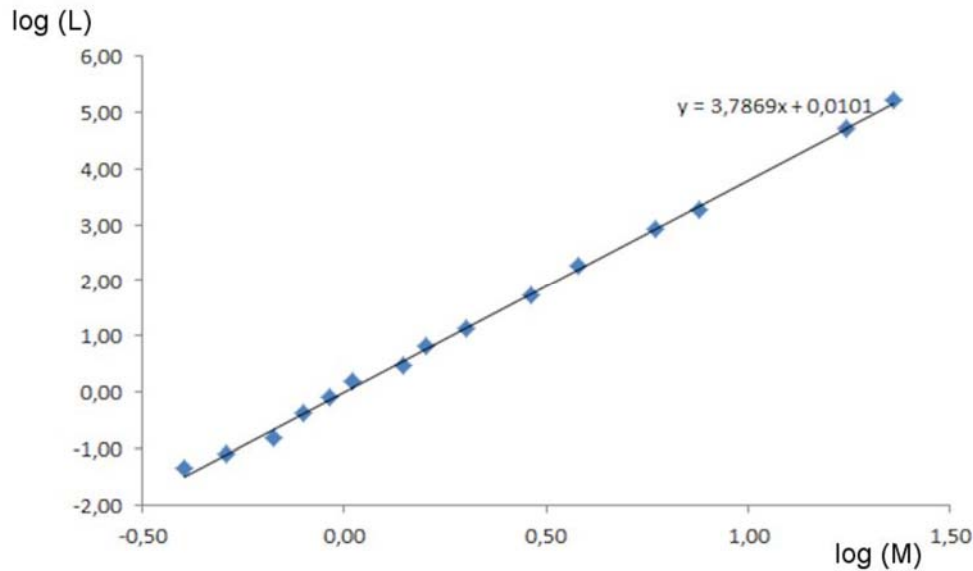
[www2.astro.psu.edu/users/caryl/a10/lec8\\_2d.html](http://www2.astro.psu.edu/users/caryl/a10/lec8_2d.html)

Le théorème de Vogt-Russell affirme que le rayon, la luminosité, la température de surface, la structure interne et l'évolution de l'étoile sont uniquement déterminés par la masse et la composition chimique de l'étoile.

Comme la composition des étoiles varie peu, c'est principalement la masse qui détermine les caractéristiques de l'étoile, ce qui signifie qu'il doit y avoir un lien entre la masse et la luminosité, le rayon et la température de surface quand l'étoile est sur la séquence principale. C'est donc la masse qui détermine la position de l'étoile sur la séquence principale.

## Lien entre la masse et la luminosité sur la séquence principale

Examinons premièrement le lien entre la masse et la luminosité. Selon les valeurs des masses et des luminosités du tableau précédent, voici ce qu'on obtient quand on fait le graphique du logarithme de la luminosité (en luminosité solaire) en fonction du logarithme de la masse (en masse solaire).



On remarque qu'une droite donne la tendance. Avec l'équation de cette droite, on trouve le lien entre la luminosité et la masse des étoiles de la séquence principale. Avec une échelle logarithmique, on a

$$\begin{aligned}\log L &= 0,0101 + 3,7869 \log M \\ \log L &= \log(1,0235) + \log M^{3,7869} \\ \log L &= \log(1,0235 \cdot M^{3,7869}) \\ L &= 1,0235 \cdot M^{3,7869}\end{aligned}$$

On peut arrondir un peu pour arriver à la relation suivante.

### Relation entre la masse et la luminosité des étoiles sur la séquence principale

$$L = M^{3,8}$$

(La masse est en  $M_{\odot}$  et la luminosité est en  $L_{\odot}$ .)

Cette relation est un peu approximative. La véritable luminosité peut même être différente d'un facteur 2 de celle donnée par la figure, c'est-à-dire que la véritable luminosité de l'étoile est située quelque part entre la moitié de la valeur donnée par la formule et le double de la valeur donnée par la formule. Nous verrons plus tard pourquoi il y a de telles variations. Notez également que cette formule donne des résultats pas très conformes à la réalité pour des masses supérieures à 20 masses solaires et il ne faudra pas l'utiliser pour ces étoiles très massives.

On va faire une petite vérification.

**Exemple 5.5.1**

Quelle est la luminosité de l'étoile Sirius si elle a une masse de  $2,19 M_{\odot}$  ?

La luminosité est

$$\begin{aligned} L &= 2,19^{3,8} \\ &= 19,7 L_{\odot} \end{aligned}$$

La véritable luminosité de Sirius est de  $26,2 L_{\odot}$ .

**Exemple 5.5.2**

Quelle est la masse de l'étoile Procyon, si la luminosité est de  $6,93 L_{\odot}$  ?

La masse se trouve avec

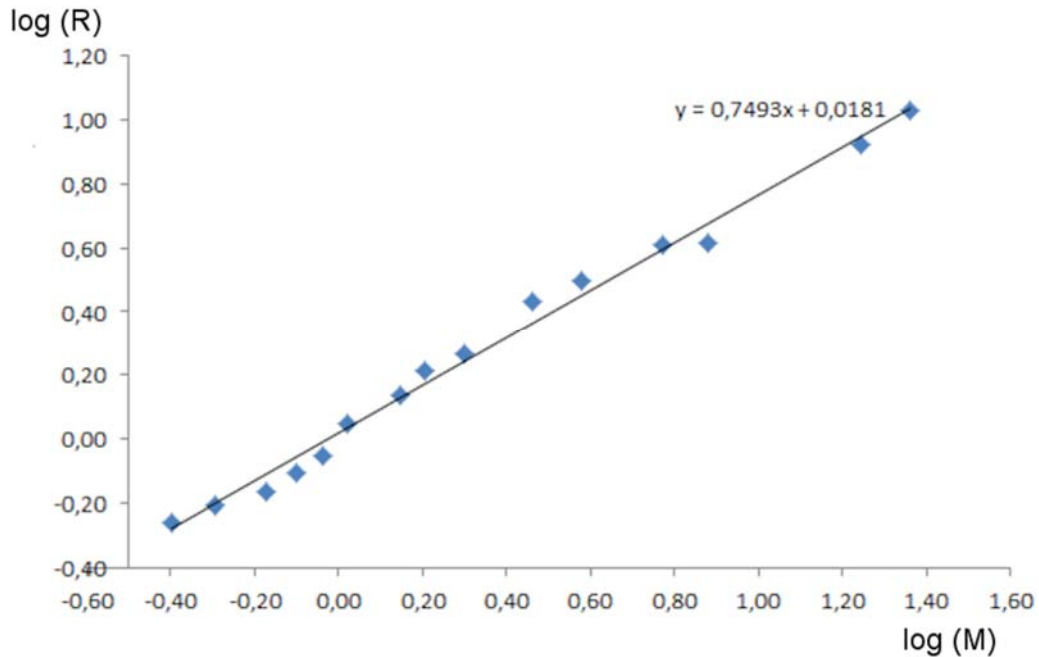
$$\begin{aligned} L &= M^{3,8} \\ 6,93 L_{\odot} &= M^{3,8} \\ M &= 1,66 M_{\odot} \end{aligned}$$

La vraie masse de Procyon est de  $1,42 M_{\odot}$ .

Ces deux exemples nous montrent le côté approximatif de cette formule.

**Lien entre la masse et le rayon sur la séquence principale**

Cette fois, on va faire le graphique du logarithme du rayon de l'étoile en fonction du logarithme de la masse de l'étoile pour voir s'il y a un lien entre la masse et le rayon de l'étoile. Avec les données du tableau précédent, on arrive au graphique suivant.



L'équation de la droite nous donne

$$\begin{aligned}\log R &= 0,0181 + 0,7493 \log M \\ \log R &= \log(1,0425) + \log M^{0,7493} \\ \log R &= \log(1,0425 \cdot M^{0,7493}) \\ R &= 1,0425 \cdot M^{0,7493}\end{aligned}$$

On peut arrondir un peu pour arriver à la relation suivante.

#### Relation entre la masse et le rayon des étoiles sur la séquence principale

$$R = M^{0,75}$$

(La masse est en  $M_{\odot}$  et le rayon est en  $R_{\odot}$ .)

Encore une fois, cette relation est un peu approximative et il ne faudrait pas l'utiliser pour des étoiles ayant des masses supérieures à 20 masses solaires.

**Exemple 5.5.3**

Quel est le rayon de Sirius si elle a une masse de  $2,19 M_{\odot}$  ?

Le rayon est

$$\begin{aligned} R &= 2,19^{0,75} \\ &= 1,8R_{\odot} \end{aligned}$$

Le véritable rayon de Sirius est de  $1,73 R_{\odot}$ .

**Lien entre la masse et la température sur la séquence principale**

Les deux équations précédentes nous permettent de faire le lien entre la masse et la température de surface de l'étoile. Puisque la luminosité est de

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

on a

$$\begin{aligned} 1L_{\odot} \cdot M_{(M_{\odot})}^{3,8} &= 4\pi \left(1R_{\odot} M_{(M_{\odot})}^{0,75}\right)^2 \sigma T^4 \\ 1L_{\odot} \cdot M_{(M_{\odot})}^{3,8} &= 4\pi \cdot 1R_{\odot}^2 M_{(M_{\odot})}^{1,5} \sigma T^4 \\ 1L_{\odot} \cdot M_{(M_{\odot})}^{2,3} &= 4\pi \cdot 1R_{\odot}^2 \sigma T^4 \\ T^4 &= \frac{1L_{\odot}}{4\pi \cdot 1R_{\odot}^2 \sigma} M_{(M_{\odot})}^{2,3} \\ T &= \sqrt[4]{\frac{1L_{\odot}}{4\pi \cdot 1R_{\odot}^2 \sigma}} M_{(M_{\odot})}^{0,575} \end{aligned}$$

La racine quatrième est une constante, elle vaut

$$\begin{aligned} \sqrt[4]{\frac{1L_{\odot}}{4\pi \cdot 1R_{\odot}^2 \sigma}} &= \sqrt[4]{\frac{3,828 \times 10^{26} \text{ W}}{4\pi \cdot (6,955 \times 10^8 \text{ m})^2 \cdot 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}}} \\ &= 5773 \text{ K} \end{aligned}$$

On a donc,

### Relation entre la masse et la température de surface des étoiles sur la séquence principale

$$T = 5773K \cdot M^{0,575}$$

(La masse est en  $M_{\odot}$ .)

Encore une fois, il ne faudrait pas utiliser cette formule pour des étoiles de plus de 20 masses solaires.

#### Exemple 5.5.4

Quelle est la température de surface de Sirius si elle a une masse de 2,19  $M_{\odot}$  ?

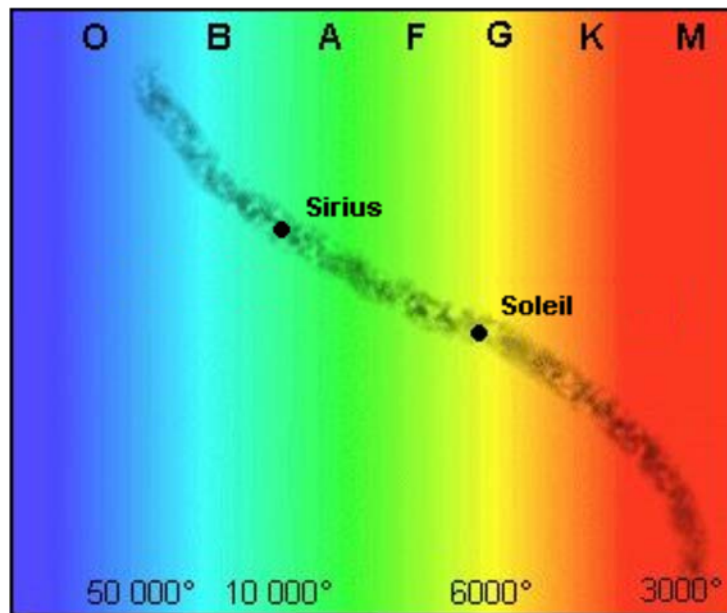
La température est

$$\begin{aligned} T &= 5773K \cdot 2,19^{0,575} \\ &= 9060K \end{aligned}$$

La véritable température de Sirius est de 9940K.

### Le Soleil dans la séquence principale

On pourrait penser que le Soleil est une étoile très ordinaire puisqu'il est situé presque au milieu de la série principale.

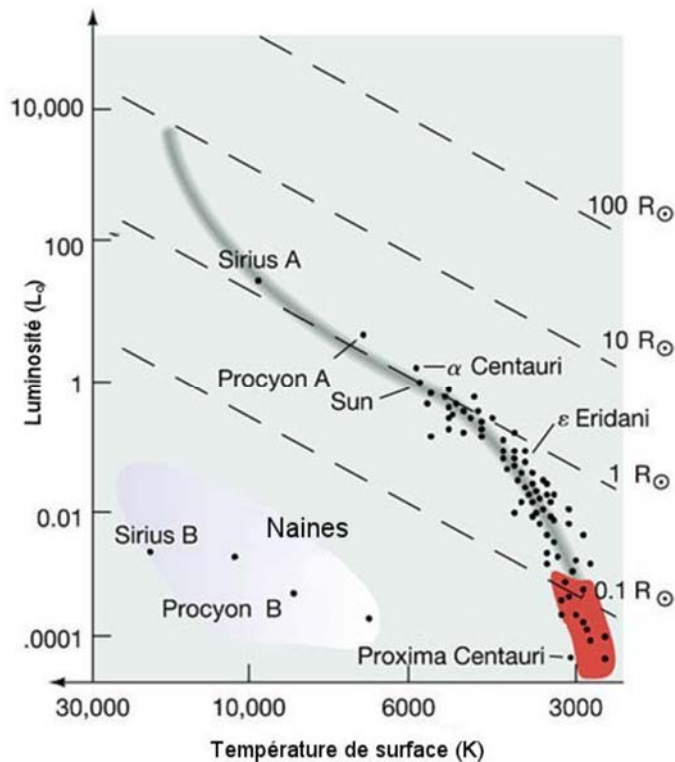


[spacehole.free.fr/normal/webspace/Soleiletoile.html](http://spacehole.free.fr/normal/webspace/Soleiletoile.html)



Toutefois, ce n'est pas le cas, car les étoiles ne sont pas distribuées uniformément sur la série principale. Seulement 1 % des étoiles sont de type O ou B alors que 70 % des étoiles sont de type K ou M.

Pour vous donner une idée plus concrète de cette distribution inégale des étoiles sur la série principale, examinons le type spectral des étoiles à moins de 5 pc (16,3 al) du Soleil. Cela inclut 61 étoiles, dont le Soleil. On peut voir sur la figure ci-contre la position de ces étoiles dans un diagramme HR.



[www2.astro.psu.edu/users/cpalma/astro10/class9.html](http://www2.astro.psu.edu/users/cpalma/astro10/class9.html)

Sur les 60 étoiles près du Soleil, on retrouve

Géantes : Aucune

Naines blanches : 4 (Sirius B, Procyon B, étoile de Van Maanen et Gliese 440)

Séquence principale : 57

Sur les 57 étoiles de la séquence principale, on a les types suivants

O Aucune

B Aucune

A 1 (Sirius A (A1))

F 1 (Procyon A (F5))

G 3 (Soleil (G2), alpha du Centaure A (G2) et tau de la Baleine (G8))

K 6

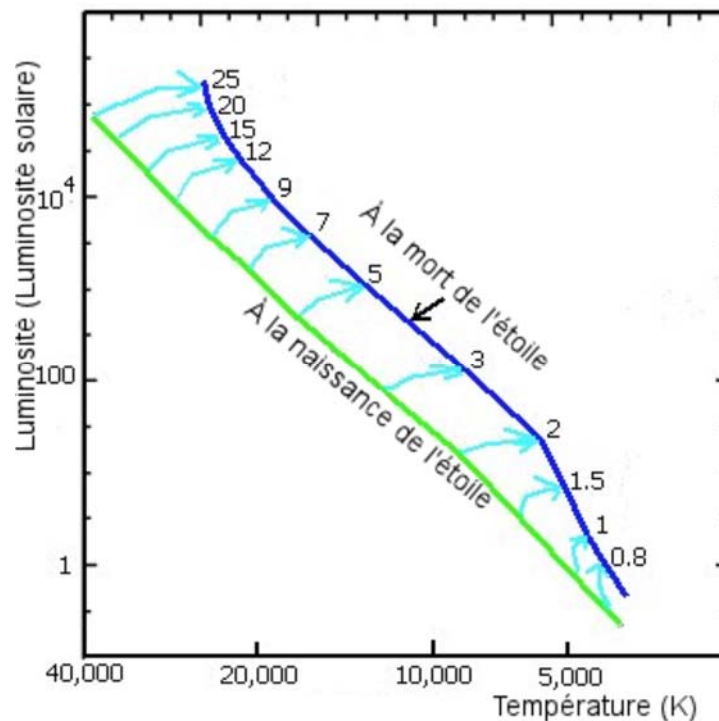
M 46

Dans notre région de l'univers, le Soleil est donc au 4<sup>e</sup> rang sur 61 étoiles. En fait, Le Soleil est dans le top 20 % des étoiles les plus brillantes de la séquence principale. Pas mal quand même.

Notez que les 46 étoiles de type M sont si peu brillantes qu'aucune n'est visible à l'œil nu bien qu'elles soient si près de la Terre.

## La séquence principale a une certaine largeur

Il ne faut pas croire que les étoiles de la série principale forment une courbe très mince dans le diagramme HR. La séquence principale a une certaine largeur, ce qui signifie que des étoiles ayant exactement la même masse peuvent avoir des luminosités un peu différentes. Cette différence peut être due à une légère différence dans la composition de l'étoile ou à une différence d'âge de l'étoile puisque nous verrons dans un chapitre ultérieur que les étoiles de la série principale décalent un peu vers le coin supérieur droit du diagramme HR durant leur vie adulte.



[www.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/new7.html](http://www.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/new7.html)

(Les chiffres avec chaque flèche indiquent la masse de l'étoile.)

Comme il y a des étoiles de tous âges, il y a des étoiles partout sur la série principale entre les lignes verte et bleu.

Ainsi, une étoile de type G2, comme le Soleil, pourrait avoir une luminosité variant entre 0,5 et 1,5  $L_{\odot}$ .

## RÉSUMÉ DES ÉQUATIONS

### Méthode des étoiles jumelles

Si deux étoiles ont des spectres identiques, elles doivent avoir des caractéristiques identiques.

### Relation entre la masse et la luminosité des étoiles sur la séquence principale

$$L = M^{3,8}$$

(La masse est en  $M_{\odot}$  et la luminosité est en  $L_{\odot}$ .)

### Relation entre la masse et le rayon des étoiles sur la séquence principale

$$R = M^{0,75}$$

(La masse est en  $M_{\odot}$  et le rayon est en  $R_{\odot}$ .)

### Relation entre la masse et la température de surface des étoiles sur la séquence principale

$$T = 5773K \cdot M^{0,575}$$

(La masse est en  $M_{\odot}$ .)

## EXERCICES

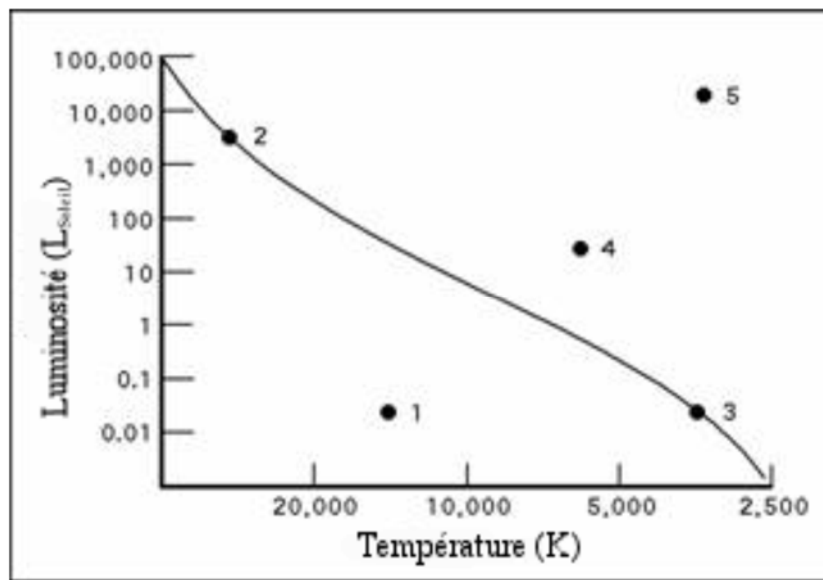
### 5.2 La méthode des étoiles jumelles

1. Une étoile a un spectre identique à celui du Soleil, mais a une magnitude de 14,8. Quelle est la distance de l'étoile ?

## 5.4 Le diagramme HR

### 5.5 La séquence principale

2. Dans quelle catégorie (géantes, séquence principale ou naine blanche) sont ces étoiles ? Si cette une étoile de la séquence principale, dites le type spectral de l'étoile (O, B, A, F, G, K ou M).
  - a)  $T_{\text{surface}} = 3000 \text{ K}$ ,  $L = 0,005 L_{\odot}$ .
  - b)  $T_{\text{surface}} = 3000 \text{ K}$ ,  $L = 20\,000 L_{\odot}$ .
  - c)  $T_{\text{surface}} = 15\,000 \text{ K}$ ,  $L = 0,005 L_{\odot}$ .
  - d)  $T_{\text{surface}} = 5000 \text{ K}$ ,  $L = 0,3 L_{\odot}$ .
  - e)  $T_{\text{surface}} = 8000 \text{ K}$ ,  $L = 10 L_{\odot}$ .
  
3. L'étoile Mintaka (dans la constellation d'Orion) a une parallaxe de  $0,00471''$ , une magnitude bolométrique de  $-1,01$  et pic d'émission dans l'ultraviolet à  $91,1 \text{ nm}$ . Dans quelle catégorie (géantes, séquence principale ou naine blanche) est cette étoile ? Si cette une étoile de la séquence principale, dites le type spectral de l'étoile (O, B, A, F, G, K ou M).
  
4. Avec les 5 étoiles dans le diagramme HR suivant



- a) Laquelle est la plus chaude ?
- b) Laquelle a le plus grand rayon ?
- c) Laquelle est la plus lumineuse ?
- d) Laquelle est une naine blanche ?
- e) Laquelle est la plus massive sur la séquence principale ?

5. Quels sont la luminosité, le rayon et la température de surface d'une étoile sur la séquence principale, dont la masse est de...
- 0,7  $M_{\odot}$  ?
  - 1,2  $M_{\odot}$  ?
  - 10,2  $M_{\odot}$  ?
6. Pour une étoile sur la série principale, quelle est la masse d'une étoile dont...
- la luminosité est de 0,22  $L_{\odot}$  ?
  - le rayon est de 0,86  $R_{\odot}$  ?
  - la température est de 7000 K ?

## RÉPONSES

### 5.2 La méthode des étoiles jumelles

- 3352 al

### 5.4 Le diagramme HR

### 5.5 La séquence principale

- Séquence principale, type M
  - Géantes
  - Naines blanches
  - Séquence principale, type K
  - Séquence principale, type A
- Séquence principale, type O (plus précisément, c'est une O9)  
Note : Mintaka est en fait une étoile double formée de deux étoiles de type O9 de 20 masses solaires chacune ! C'est assez remarquable étant donnée la rareté de ces étoiles.
- a) 2   b) 5   c) 5   d) 1   e) 2
- 0,26  $L_{\odot}$    0,77  $R_{\odot}$    4702 K
  - 2  $L_{\odot}$    1,15  $R_{\odot}$    6411 K
  - 6803  $L_{\odot}$    5,71  $R_{\odot}$    21 946 K
- a) 0,67  $M_{\odot}$    b) 0,82  $M_{\odot}$    c) 1,40  $M_{\odot}$