

Hugues MEUNIER¹

25/11/2021

Les étoiles : Naissance, vie et déclin

Définitions

La température de couleur : la température de couleur caractérise une source lumineuse. Elle s'obtient en comparant sa chromaticité par rapport à un corps noir (qui absorbe tout le rayonnement et n'émet que par effet thermique). Cette température de couleur n'a rien à voir avec la température effective. Par exemple une LED émet dans la température de couleur de 5700 K mais en la touchant vous pourrez confirmer qu'elle reste à température ambiante. Notre soleil a une température de couleur de 5500 K.

Qu'est-ce qu'une étoile : En astronomie, une étoile est un objet céleste qui brille de sa propre lumière, produite par des réactions thermonucléaires dans son noyau. Elle est maintenue en équilibre par la force de gravité, qui comprime les gaz et la chaleur produite par les réactions thermonucléaires, qui tend à la faire exploser. Les étoiles sont classées selon leur température de surface, leur luminosité et leur taille, dans un diagramme appelé "diagramme de Hertzsprung-Russell". Les étoiles peuvent avoir différentes couleurs et tailles, allant des naines rouges de faible masse aux étoiles supermassives, en passant par les étoiles géantes et les étoiles de type solaire, comme notre Soleil.

La fusion nucléaire : la fusion nucléaire implique la fusion de deux noyaux légers, généralement des isotopes d'hydrogène, pour former un noyau plus lourd, comme l'hélium. Pendant la fusion, une petite quantité de masse est convertie en énergie, selon la célèbre formule $E=mc^2$ d'Albert Einstein.

¹ Les étoiles : naissance, vie et fin par Hugues MEUNIER 2021

Introduction

Les étoiles se forment dans les nuages stellaires qui se contractent sous la force de gravitation. Les nébuleuses comme celle d'Orion forment des centaines de milliers d'étoiles au sein de leur magnifique structure



Figure 1: Nébuleuse d'Orion

Les étoiles suivent un cycle de vie bien déterminé qui est principalement fonction de leur taille. Cet article vise à vous donner certaines clés pour comprendre le cycle de vie des étoiles.

Un peu de physique

Une étoile en équilibre est soumise à deux forces :

- Une force radiale de dilatation due aux réactions de fusion nucléaire dans son cœur (une étoile transforme par fusion nucléaire des atomes d'hydrogène H en atomes d'Hélium He). Cette force radiale a tendance à s'étendre et entraîne une baisse de la température de l'étoile,
- Une force de contraction due à la gravitation qui entraîne une augmentation de la température de l'étoile.

Une étoile dite dans la séquence principale est en équilibre et sa température reste constante ; c'est le cas de notre soleil et de Sirius A entre autres.

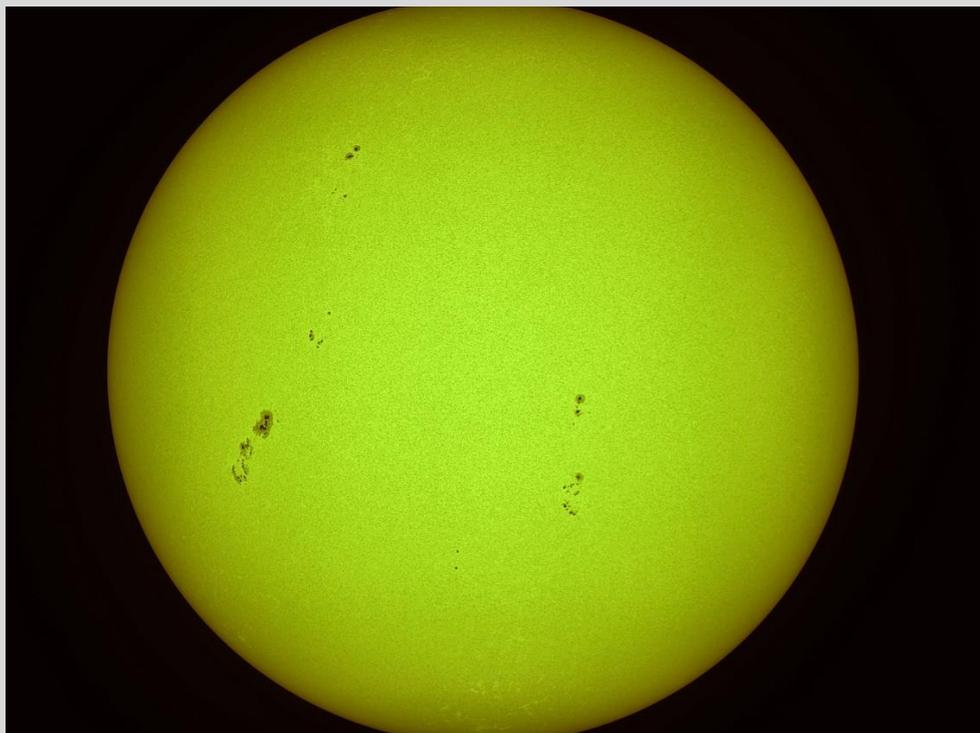


Figure 1: notre soleil avec ces belles tâches

La classification de Harvard

Cette classification permet un classement des étoiles en fonction de leur type spectral (des raies d'absorption et de la température). Elle classe les étoiles suivant les lettres OBAFGKM de la température la plus haute pour O à la plus basse pour M.

| Type | Température ⁵ | Couleur conventionnelle | Raies d'absorption |
|----------|--------------------------|--|--|
| O | > 25 000 K ² | bleue | azote , carbone , hélium et oxygène |
| B | 10 000–25 000 K | bleue-blanche | hélium , hydrogène |
| A | 7 500–10 000 K | blanche | hydrogène |
| F | 6 000–7 500 K | jaune-blanche | métaux : fer , titane , calcium , strontium et magnésium |
| G | 5 000–6 000 K | jaune (comme le Soleil) | calcium , hélium , hydrogène et métaux |
| K | 3 500–5 000 K | orange | métaux et monoxyde de titane |
| M | < 3 500 K | rouge | métaux et monoxyde de titane |

Figure 2: Classification des étoiles de Harvard (source Wikipedia)

Chaque classe est divisée à l'aide d'un chiffre de 1 à 9 (O9, M3, ...).

² K degré Kelvin

Notre soleil est de type G2.

Les étoiles de type O

Ces étoiles sont les mastodontes du ciel nocturne. Elles ont pratiquement toutes un ou plusieurs compagnons. Un exemple est Hatsya dans la constellation d'Orion qui est de type O9 et qui fait partie de l'amas ouvert NGC 1980. Les étoiles de classe O émettent surtout dans l'ultra-violet et sont tellement lumineuses qu'elles émettent un vent stellaire très important induisant une perte de masse importante.



Figure 3 : Hatsya une étoile de type O(9)

Les étoiles de type B

Les étoiles de type B sont très brillante avec une couleur bleue blanche. Elles sont très chaudes 10000 à 25000 K. Un exemple est Alpheratz qui est de type spectral B8.



Figure 4: Alpheratz dans la constellation d'Andromède



Figure 5 : Les étoiles de l'amas des pleiades sont, en majorité, des étoiles de type B

Les étoiles de type M

Les étoiles de type M ont une température apparente faible inférieure à 3500 K. Cette catégorie comprend les géantes et les super géantes rouge.



Figure 6 : image de Mirach une géante rouge classifiée M dans la constellation d'Andromède

Les étoiles de type F

Les étoiles de type F ont une température comprise entre 6000 et 7500 K donc un peu plus chaude que notre soleil.



Figure 7 : Procyon A une étoile de type F

Les étoiles de type A

Les étoiles de type A ont une température comprise entre 7500 et 10000 K et sont blanches. Vega est une étoile de classe spectrale A.



Figure 8 : image de Vega

Le cycle des étoiles

Les étoiles sont nées dans des nuages de gaz et de poussière dans l'univers. Leur cycle de vie est déterminé par leur masse initiale. Les étoiles les plus massives ont une vie plus courte et brûlent leur combustible nucléaire plus rapidement, tandis que les étoiles moins massives ont une vie plus longue et brûlent leur combustible plus lentement.

Le début du cycle de vie d'une étoile commence par la formation d'un nuage de gaz et de poussière dans l'espace. Des forces gravitationnelles attirent ce gaz et cette poussière ensemble, formant ainsi un disque protostellaire. Ce disque est très chaud et dense et en se contractant, commence à brûler de l'hydrogène pour produire de l'énergie.

Au fur et à mesure que le disque protostellaire se contracte, il devient plus chaud et plus dense. Lorsque la température centrale atteint environ 10 millions de degrés Celsius, la fusion nucléaire de l'hydrogène en hélium commence. C'est à ce moment-là que la protoétoile devient une étoile.

Au cours de sa vie, une étoile peut brûler plusieurs types de combustibles nucléaires, tels que l'hélium, le carbone, l'oxygène et le fer, en fonction de sa masse initiale. Les étoiles plus massives ont des températures centrales plus élevées, ce qui leur permet de brûler des éléments plus lourds. Les étoiles moins massives brûlent uniquement de l'hydrogène et de l'hélium.

Après la séquence principale, la structure interne de l'étoile commence à changer, car elle a épuisé l'hydrogène dans son cœur et doit commencer à brûler de l'hélium. Cela conduit à une série de phases évolutives, qui dépendent de la masse de l'étoile :

- Étoile de faible masse ≤ 0.5 Masse du soleil : Ces étoiles brûlent leur hydrogène lentement et ont une durée de vie très longue. Elles passent la majeure partie de leur vie sur la séquence principale, où elles produisent de

l'énergie en fusionnant de l'hydrogène en hélium. À la fin de leur vie, elles deviennent des naines blanches.

- Étoile de 0.5 à 8 masses solaires : une étoile qui a épuisé l'hydrogène dans son cœur commencera à fusionner de l'hélium dans une couche autour du cœur. La fusion de l'hélium produit plus d'énergie que la fusion de l'hydrogène, ce qui fait que la couche extérieure de l'étoile se dilate et refroidit. L'étoile devient alors une géante rouge, avec une taille considérablement plus grande que lorsqu'elle était sur la séquence principale.
- Étoiles de plus de 8 masses solaires mais moins de 20 masses solaires, la fusion de l'hélium s'arrêtera après un certain temps, et l'étoile commencera à se contracter sous l'effet de sa propre gravité. Cette contraction va élever la température et la pression au centre de l'étoile, ce qui entraînera la fusion d'éléments plus lourds. L'effondrement gravitationnel continuera jusqu'à ce que la matière soit si comprimée que les électrons fusionnent avec les protons, créant des neutrons. L'étoile devient alors une étoile à neutrons, avec un rayon d'environ 10 kilomètres, mais une densité extrêmement élevée.
- Trou noir: pour les étoiles de masse supérieure à environ 20 masses solaires, la fusion d'éléments plus lourds ne peut plus lutter contre la gravité de l'étoile. L'étoile s'effondre sur elle-même en une fraction de seconde, créant une explosion appelée supernova. Ce processus libère une quantité immense d'énergie et de matière, qui peut être détectée depuis la Terre. Si l'effondrement est suffisamment important, il peut créer un objet encore plus étrange et fascinant : un trou noir. Les trous noirs sont des régions de l'espace où la gravité est si forte que rien, pas même la lumière, ne peut s'en échapper.

Ces phases d'évolution stellaire peuvent sembler éloignées de notre expérience quotidienne, mais elles sont en réalité cruciales pour la compréhension de l'univers dans lequel nous vivons. Les étoiles sont les usines de production d'éléments chimiques qui ont permis la formation des planètes, des organismes vivants et de tout ce que nous connaissons. La compréhension de leur cycle de vie est donc essentielle pour comprendre notre propre existence.

Et notre soleil ?

Le Soleil est une étoile de taille moyenne, avec une masse d'environ $1,989 \times 10^{30}$ kg, et donc son évolution après la séquence principale sera différente de celle des étoiles de plus grande ou de plus petite masse.

Actuellement, le Soleil est sur la séquence principale, où il fusionne de l'hydrogène en hélium dans son noyau. Dans environ 5 milliards d'années, le Soleil aura épuisé l'hydrogène dans son noyau et commencera à brûler de l'hélium. Ce processus conduira à une expansion de l'enveloppe externe de l'étoile, qui deviendra une géante rouge. À ce stade, le Soleil aura une taille d'environ 1,2 à 1,5 fois son rayon actuel.

Au cours de cette phase, le Soleil va perdre une quantité considérable de sa masse extérieure, car le vent stellaire soufflera de la matière dans l'espace interstellaire. Cette perte de masse fera diminuer la gravité à la surface de l'étoile, ce qui conduira à une expansion encore plus importante de l'enveloppe. Cette expansion entraînera la destruction des planètes les plus proches du Soleil, y compris la Terre, et la création d'une nébuleuse planétaire.

Finalement, après environ un milliard d'années en tant que géante rouge, le Soleil perdra sa masse externe et deviendra une naine blanche. Cette naine blanche sera très dense, avec une masse d'environ la moitié de celle du Soleil, mais avec un rayon beaucoup plus

petit, d'environ la taille de la Terre. Le Soleil continuera à briller comme une naine blanche pendant des milliards d'années.