

COMPLEMENT 1

LE DIAGRAMME HR : LE CHEMIN DE VIE D'UNE ETOILE

Dans ce complément, nous allons voir que le diagramme HR retrace la vie des étoiles. Au cours de leur vie, celles-ci se « déplacent » sur le diagramme : elles changent de position selon leur âge.

Les étoiles naissent toutes d'un **nuage de poussières et de gaz** (d'hydrogène essentiellement) interstellaire. Par exemple, la nébuleuse d'Orion (image à droite) en est une véritable pépinière. Au sein de cette nébuleuse se forment des grumeaux de matière, qui se contractent sous l'action de la gravité. On est alors au stade de **protoétoile** (cette protoétoile n'est pas encore une « étoile » à proprement parler, puisque la fusion nucléaire de l'hydrogène n'a pas commencé). **C'est alors la masse, et uniquement la masse, de cette protoétoile qui va déterminer son avenir.**



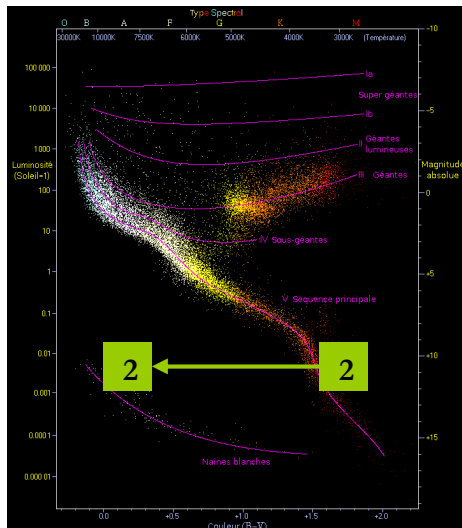
I Cas d'une protoétoile dont la masse est inférieure à 0.07 fois la masse de notre Soleil actuel

Si la masse de la protoétoile naissante est inférieure à 0.07 fois la masse de notre Soleil actuel, la température dans le cœur ne s'élèvera jamais assez pour que la fusion puisse commencer : la protoétoile devient alors ce que l'on appelle une **naine brune**, très froide et très peu lumineuse, à l'intérieur de laquelle il ne se produit pas de fusion nucléaire : ce n'est donc pas une étoile, mais plutôt « une étoile avortée ». Elle ne figure pas par conséquent sur le diagramme HR. (Chemin 1 sur le schéma bilan final)

II Cas d'une protoétoile dont la masse est supérieure à 0.07 fois la masse de notre Soleil actuel

Dans ce cas, la contraction du nuage protostellaire s'accompagne d'une élévation de la température assez importante pour que celle-ci atteigne environ 10 millions de degrés. Alors, des réactions thermonucléaires s'amorcent et permettent à la protoétoile de rayonner : elle est désormais devenue une étoile.

Elle arrive dès lors sur la **séquence principale** du diagramme HR, et c'est encore une fois **la masse initiale de l'étoile qui va déterminer son point de départ sur la séquence principale.**



A - Devenir d'une étoile de masse inférieure à 8 masses solaires (étoile peu massive)

1 - Cas d'une masse initiale comprise entre 0.07 et 0.6 masses solaires

Lorsque la masse de l'étoile est inférieure à 0.6 fois la masse du Soleil, l'étoile est une **naine rouge** (en bas à droite sur la séquence principale du diagramme HR). Elle se transforme ensuite en **naine blanche**. Puis, elle n'évolue plus.

(Chemin 2 sur les schémas bilan)

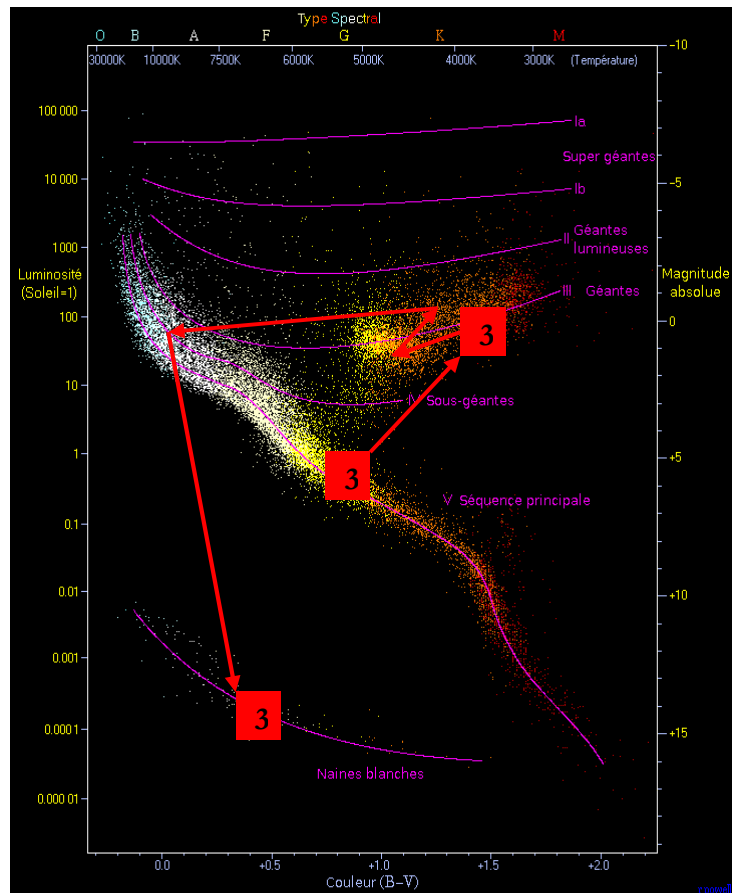
2 - Cas d'une masse initiale comprise entre 0.6 et 8 masses solaires

Lorsque l'étoile a une masse initiale inférieure à 8 fois celle de notre Soleil, elle se trouve en début de vie au milieu de la séquence principale. C'est le cas de l'immense majorité des étoiles.

Après quelques milliards d'années d'existence, le cœur se contracte alors et l'équilibre entre les forces de gravitation et les forces générées par la fusion nucléaire se rompt : l'étoile devient **géante rouge**.

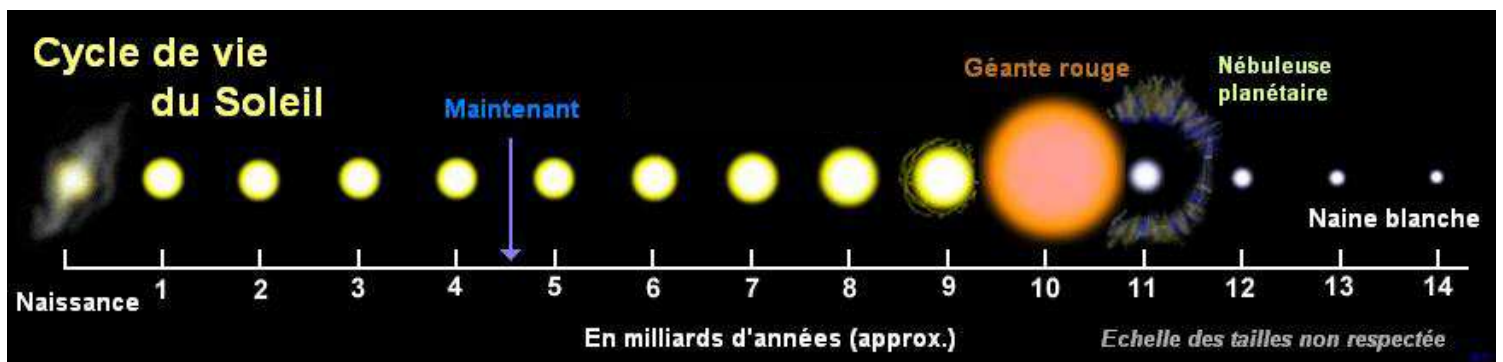
Au stade final, l'étoile devenue instable éjecte ses couches externes dans l'espace. Elle passe alors par le stade de **nébuleuse planétaire**. (Attention, l'étoile n'est pas devenue une planète ! l'appellation est en fait historique : les astronomes, en observant une étoile à ce stade dans le télescope, croyaient voir une planète. Ce n'est cependant pas du tout le cas !)

Enfin, son cœur devient une **naine blanche**, qui, environ mille fois moins lumineuse que notre Soleil, a un rayon proche de celui de la Terre. L'étoile s'est alors déplacée en bas à gauche du diagramme HR : elle est très chaude et très peu lumineuse. Peu à peu, la naine blanche se refroidit.



(Chemin 3 sur les schémas bilan)

Notre Soleil, évoluera de cette manière, que l'on résume dans le schéma suivant :



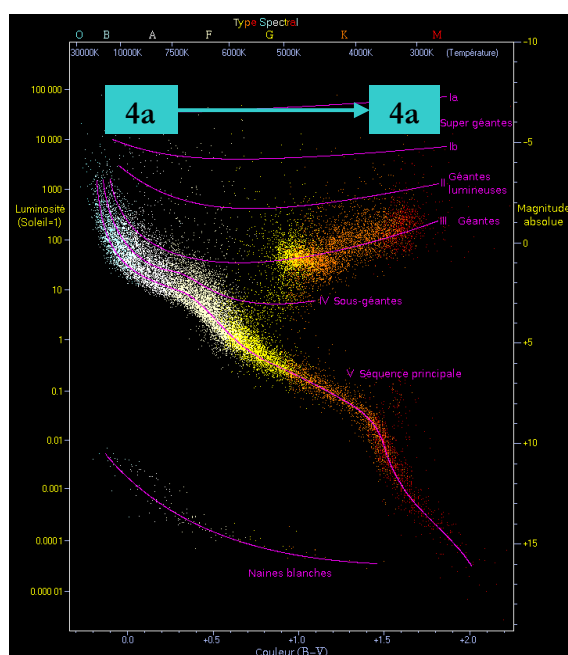
Soyons donc rassurés, nous avons encore 5 milliards d'années pour profiter de la vie !

B - Devenir d'une étoile de masse supérieure à 8 masses solaires (étoile massive)

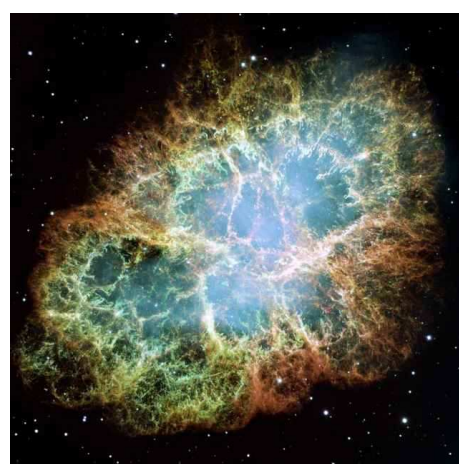
Dans ce cas, l'étoile arrive à sa naissance en haut à gauche de la séquence principale du diagramme HR : c'est une **supergéante bleue**, étoile très massive, très lumineuse (au moins 10 000 fois plus que le Soleil), et très chaude (d'où sa couleur bleue).

1 - Cas d'une masse initiale comprise entre 8 et 25 masses solaires

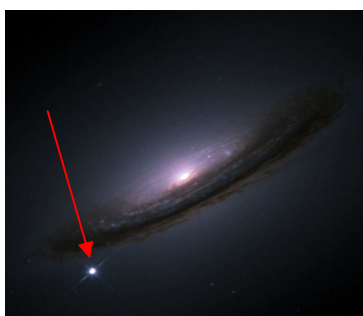
Dans cette situation, elle se déplace alors quasiment horizontalement sur le diagramme HR, et devient une **supergéante rouge** (stade plus ou moins long, d'autant plus long que la masse est petite). Au terme de son évolution, l'étoile devient une **supernova** et se débarrasse de ses couches externes en une violente explosion, donnant naissance à une **étoile à neutrons** (cadavre d'étoile extrêmement dense). La photo ci-dessous à droite montre la nébuleuse du Crabe, matière éjectée lors de l'explosion d'une supernova en 1054 qui donna naissance à une étoile à neutron (située au centre de la photographie, trop petite et trop dense pour être visible. Imaginez : elle possède une masse de l'ordre de notre Soleil dans un diamètre de l'ordre de celui de la ville de Paris !)



(Chemin 4a sur les schémas bilan)



2- Cas d'une masse initiale supérieure à 25 masses solaires



Si l'étoile est vraiment très massive, elle passe directement du stade de supergéante bleue au stade de supernova (photo à gauche), extrêmement brillante. Plus aucune force connue ne permet de maintenir l'équilibre de l'étoile : elle devient un **trou noir**, c'est-à-dire un objet massif dont le champ gravitationnel est si intense qu'il empêche toute forme de matière ou de rayonnement de s'en échapper.

(Chemin 4b sur le schéma bilan final)

Retenons de tout cela que **le devenir et la durée de vie d'une étoile sont totalement déterminés par sa masse initiale**, et que c'est cette même masse qui implique le chemin que suivra l'étoile dans le diagramme HR. La très grande majorité d'entre elles sont nées, et évolueront, comme le Soleil.

On résume les informations précédentes grâce à ce schéma récapitulatif :

