

Les étoiles

Naissance, vie et mort

Naissance :

Les Piliers de la création

On pensait qu'il fallait une collision de galaxies pour avoir formation d'étoiles, mais on sait maintenant que ce n'est pas la seule possibilité.





M17 dans la constellation du Sagittaire

Au commencement, il y a un nuage moléculaire géant.
Ce nuage est naturellement assez stable, mais il peut être soumis à différentes pressions, qui alors l'amène à s'effondrer sur lui-même.



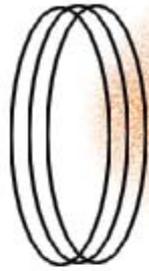


Pourquoi cet effondrement ?

- Le nuage peut passer dans une zone plus dense de la galaxie
- L'explosion d'une supernova, c'est le cas du nuage à l'origine du Soleil.

Nébuleuse de la Tête de Cheval dans Orion

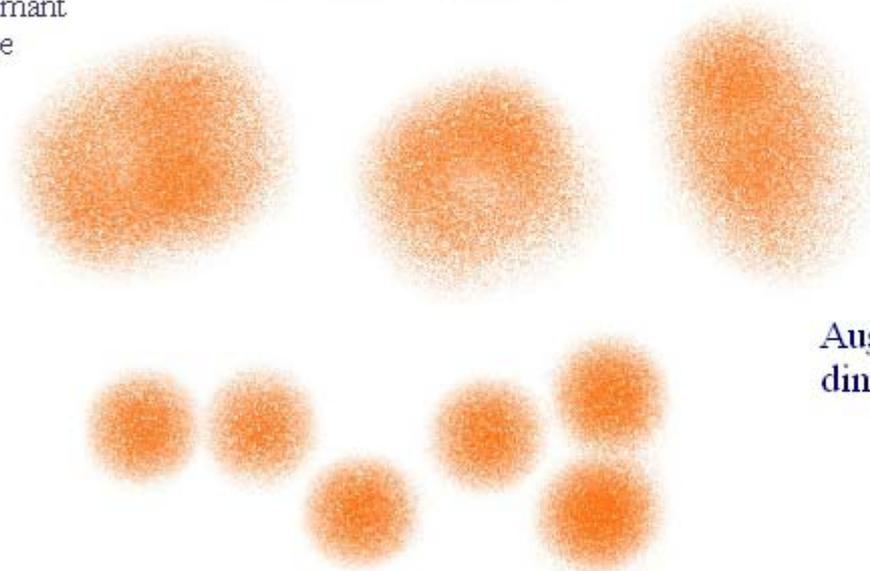




Onde comprimant le nuage

Nuage initial

Fragmentation du nuage



Augmentation de la masse volumique,
diminution de la masse de Jeans

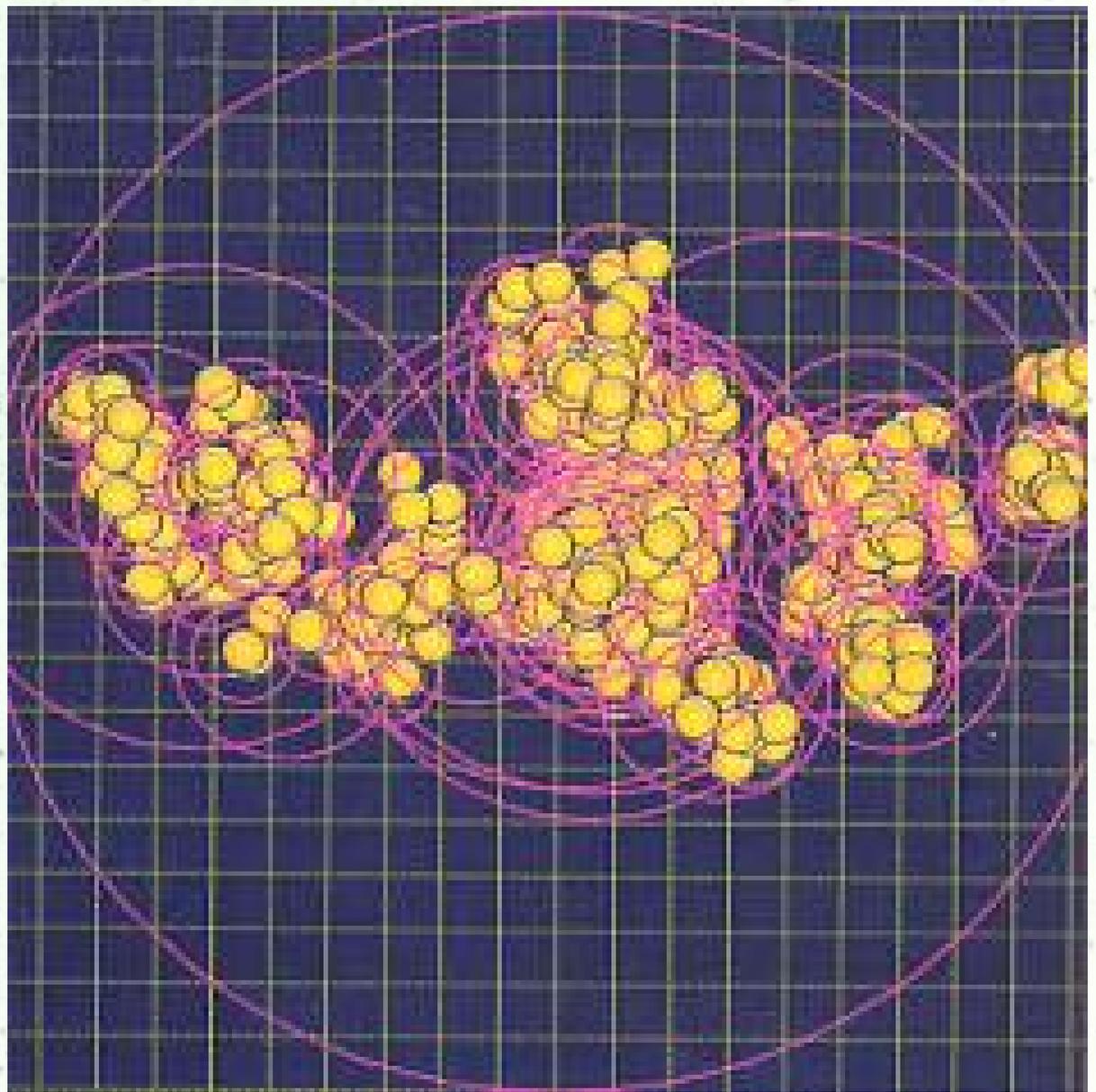


Le nuage moléculaire géant s'effondre, quand le centre est beaucoup plus dense, alors le gaz autour peut à son tour se condenser donc le nuages se fragmente en blocs plus petits, et en plusieurs étapes on arrive à des globules qui ne se divisent plus.

Guillaume et Yann



Comme le nuage devient de plus en plus dense, il est de moins en moins capable de libérer l'énergie, jusqu'au moment où l'énergie reste dans le nuage comprimé, il devient opaque, la transformation n'échange plus avec l'extérieur ! L'énergie s'oppose alors à la contraction, la fragmentation est alors terminée.



Si vous avez besoin d'approfondir le phénomène :
https://astronomia.fr/4eme_partie/details_html/masseDeJeans.php



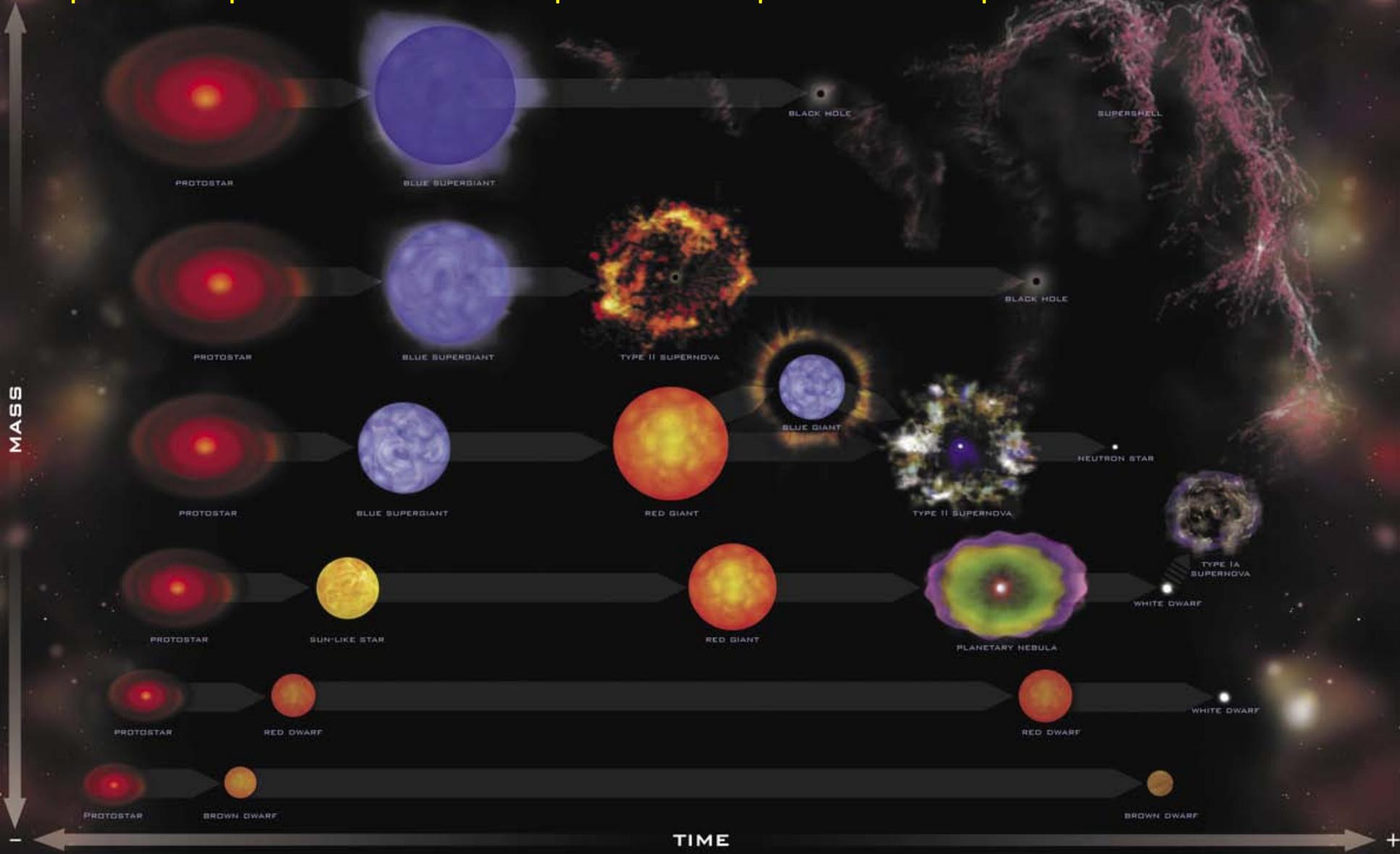
Lorsque la fragmentation s'arrête chaque globule est devenu une protoétoile qui continue à se contracter et à s'échauffer, à quelques milliers de degrés l'astre devient visible.

Ça continue jusqu'au moment où la température centrale atteint dix-millions de degrés et où les réactions nucléaires de fusion de l'hydrogène se déclenchent. La pression interne devient assez forte pour contrer la force de gravité, la contraction s'arrête.

La masse d'une étoile détermine sa vie

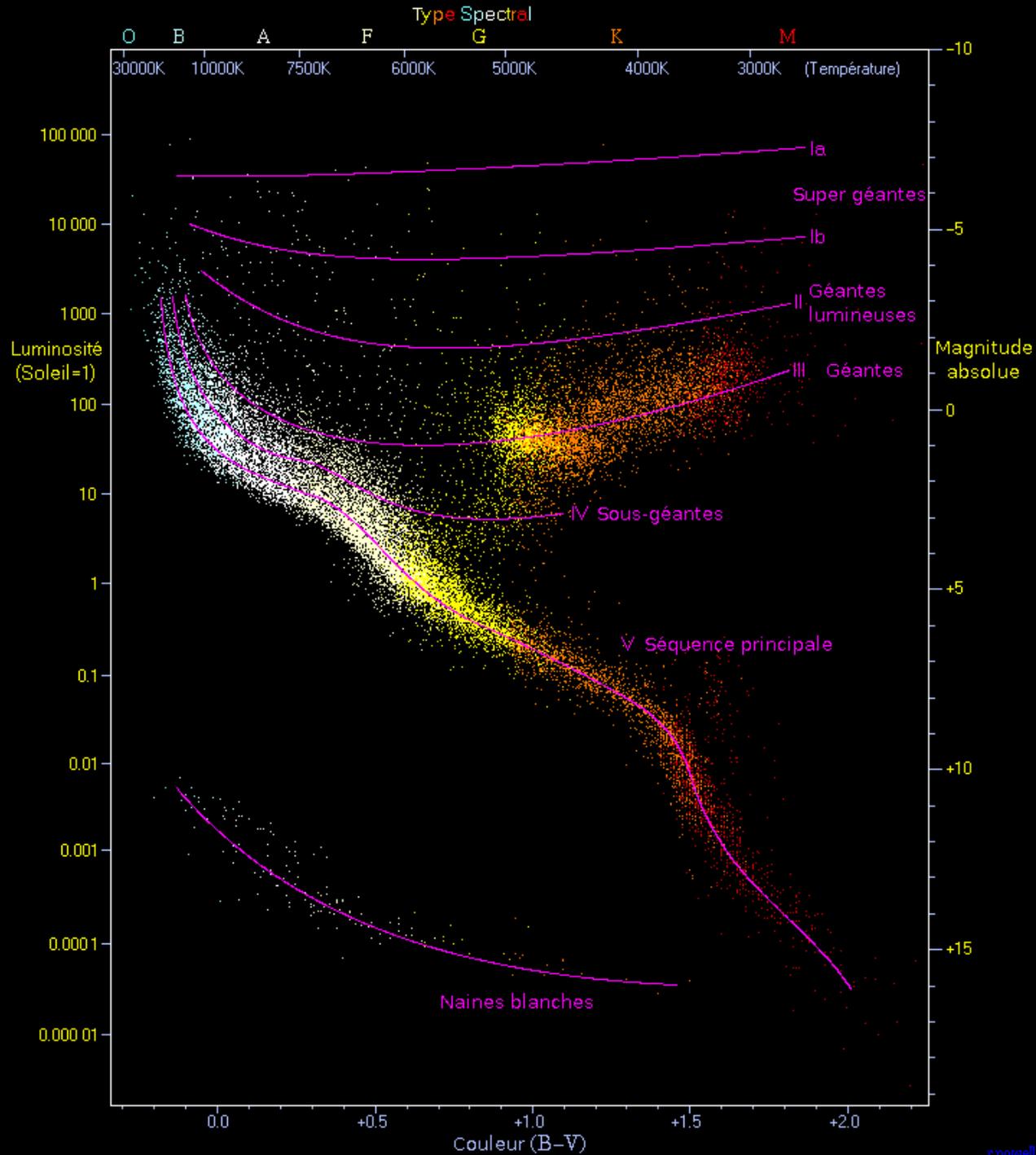
Plus une étoile est grosse plus elle a du combustible, plus elle brille intensément...

et plus elle épuise ses réserves rapidement et plus elle fabrique des atomes lourds



Que va-t-il se passer maintenant ?

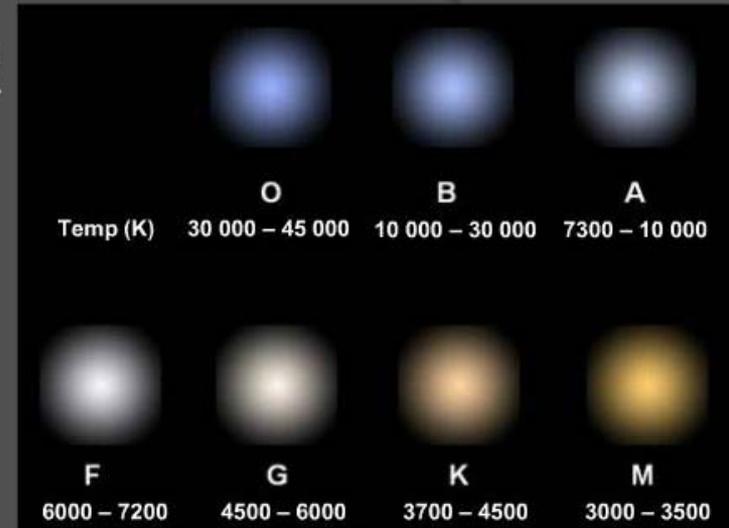
Au début du siècle, le Danois Ejnar Hertzsprung et l'Américain Henry Russell découvrirent indépendamment qu'il existait une corrélation très forte entre luminosité absolue et température de surface des étoiles. Ils utilisèrent les données disponibles à l'époque et eurent l'idée de placer sur un diagramme ces deux propriétés, pour les étoiles connues.



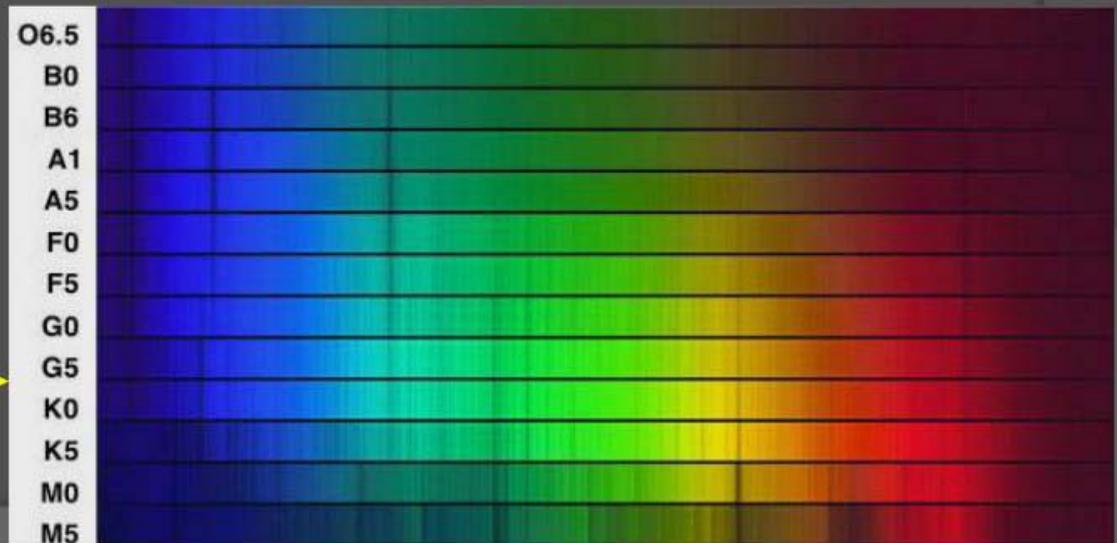
On a vu donc que les étoiles ont une vie qui dépend de leur masse de départ. Suivant leur masse de départ, elle fusionne différemment donc à des températures différentes, et ces températures se traduisent par des couleurs différentes, ce qui est visible, d'où un classement, suivant leur type spectral.

Les types spectraux

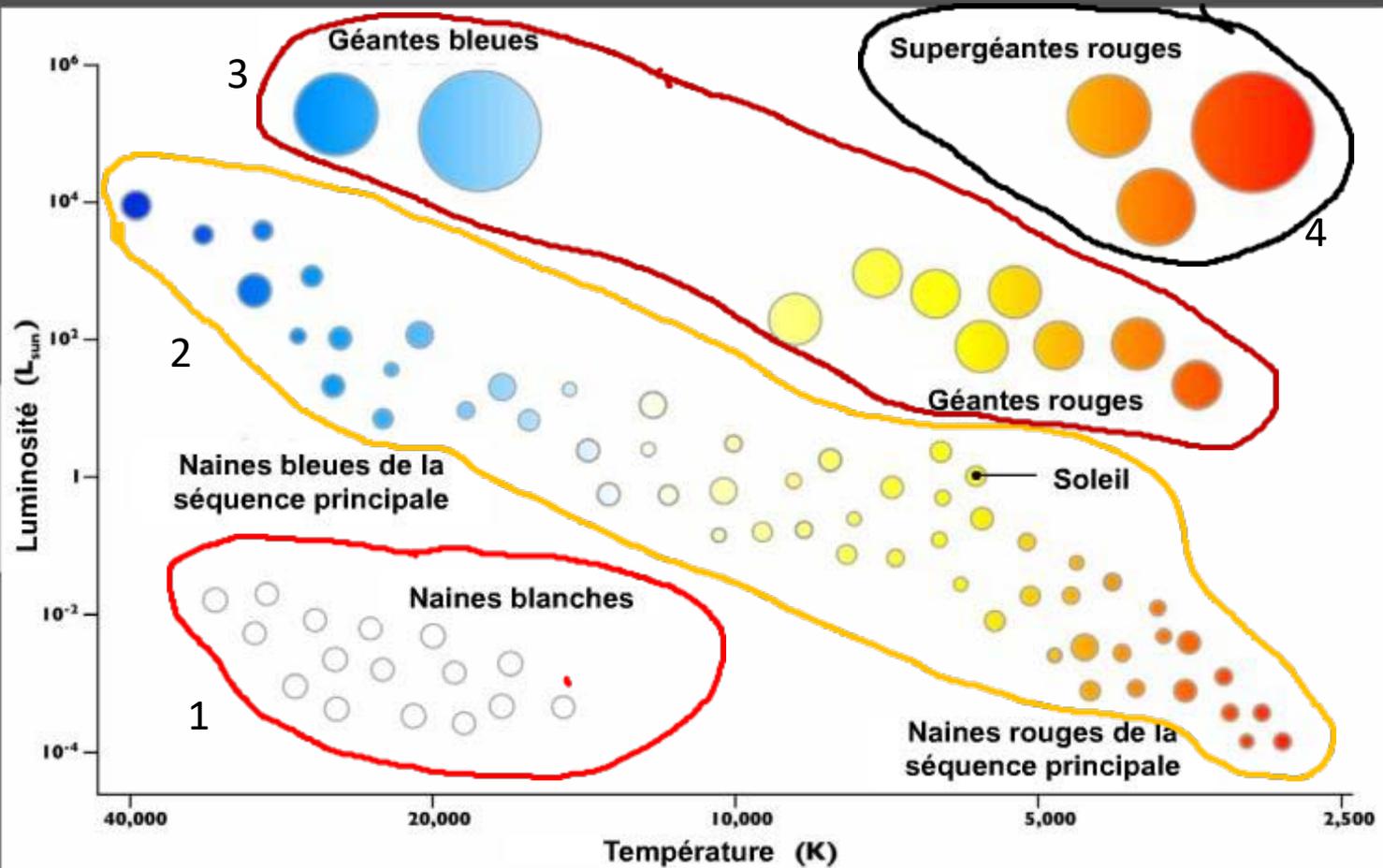
"Oh Be A Fine Girl Kiss Me!"



Soleil : G2



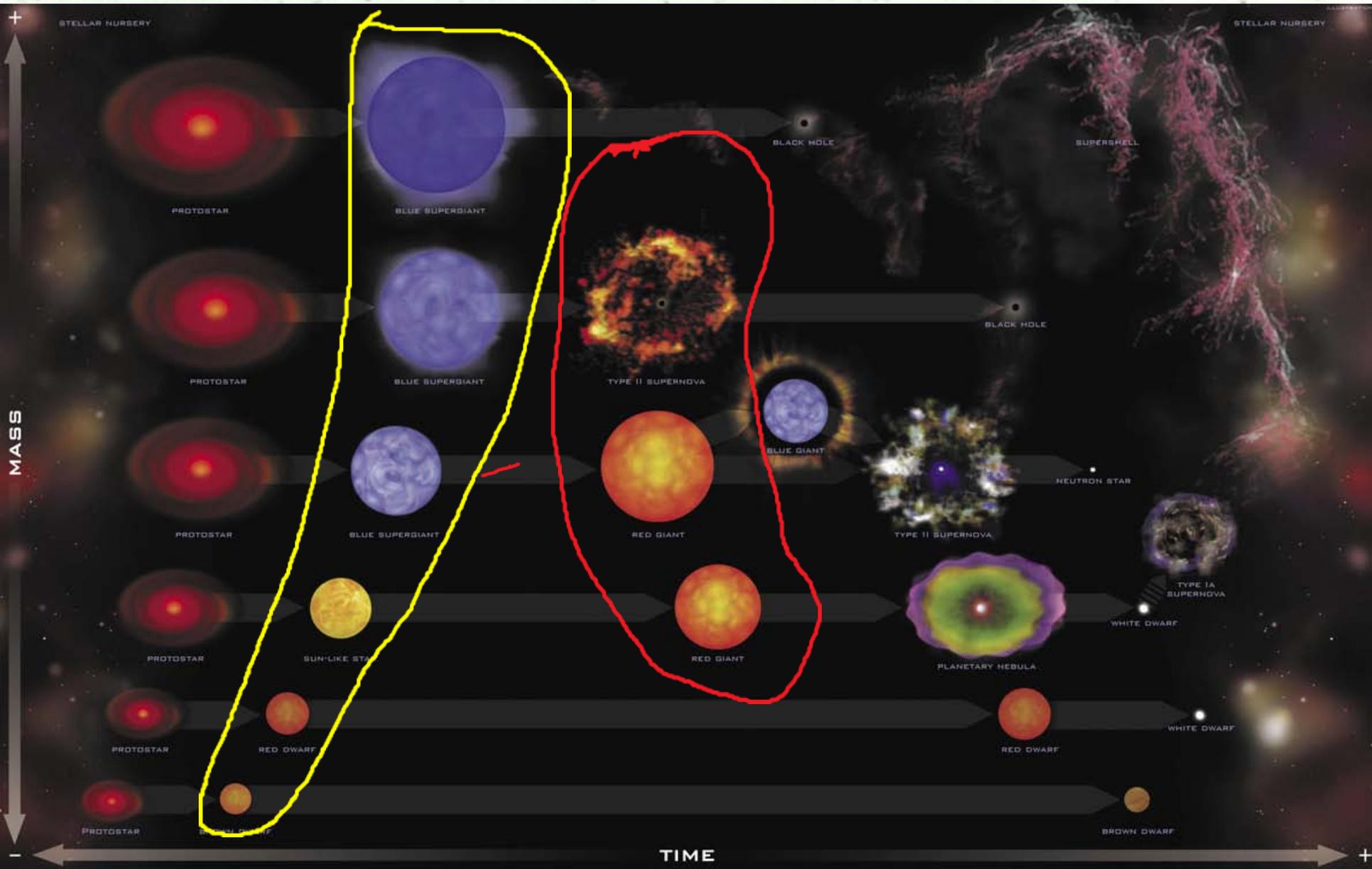
Quatre grandes catégories d'étoiles apparaissent :



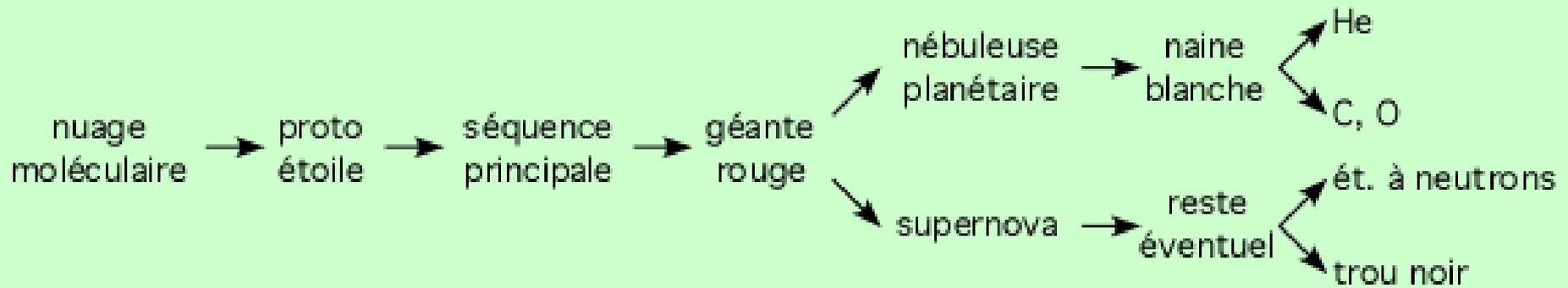
Revenons sur le schéma précédent :

Voici les étoiles juste après leur naissance

On voit qu'ensuite elles changent de couleur et de type spectral



Voici résumé, l'évolution des étoiles



J. Geppert

Comme nous l'avons vu les étoiles n'ont pas la même vie suivant leur masse de départ, mais il existe des constantes.

Les étoiles passent toutes par « **la séquence principale** ».

Dans cette partie les étoiles sont en équilibre, entre les réactions thermonucléaire de transformation de l'hydrogène en hélium, en leur cœur qui pousse vers l'extérieur et la gravité qui tend vers l'intérieur.

Ces réactions sont plus ou moins « rapides » en fonction de la masse.

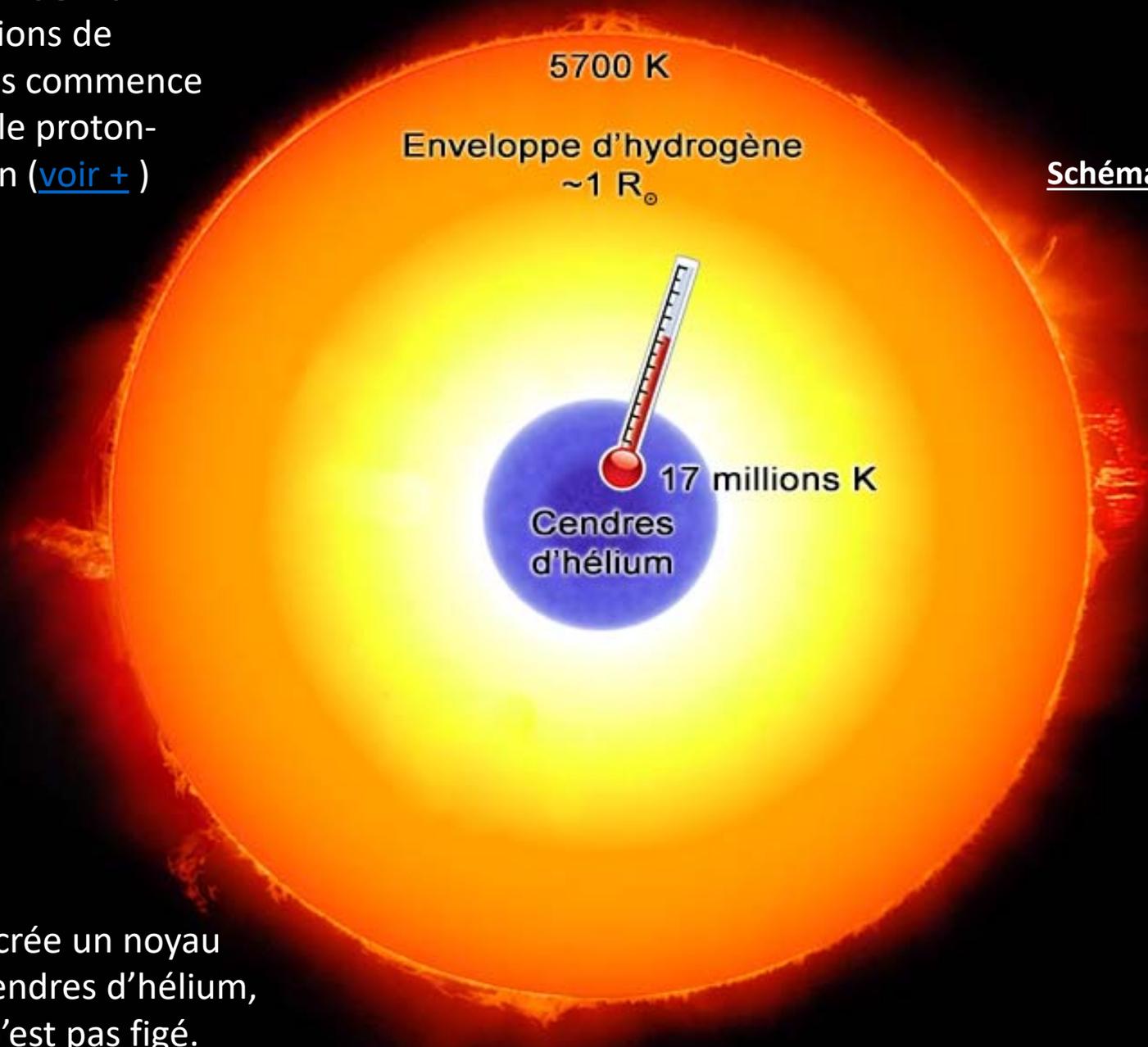


Autour de 7 à 8 millions de degrés commence le cycle proton-proton ([voir +](#))

Terre

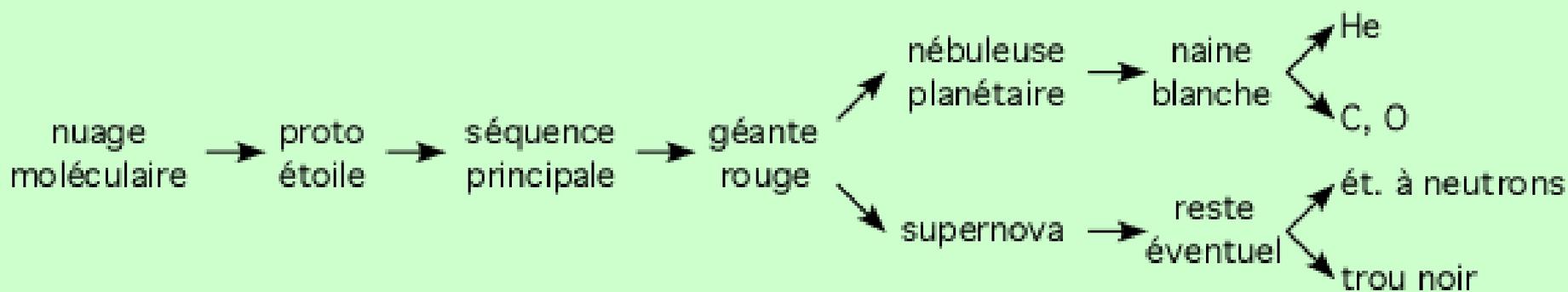


Schéma du Soleil

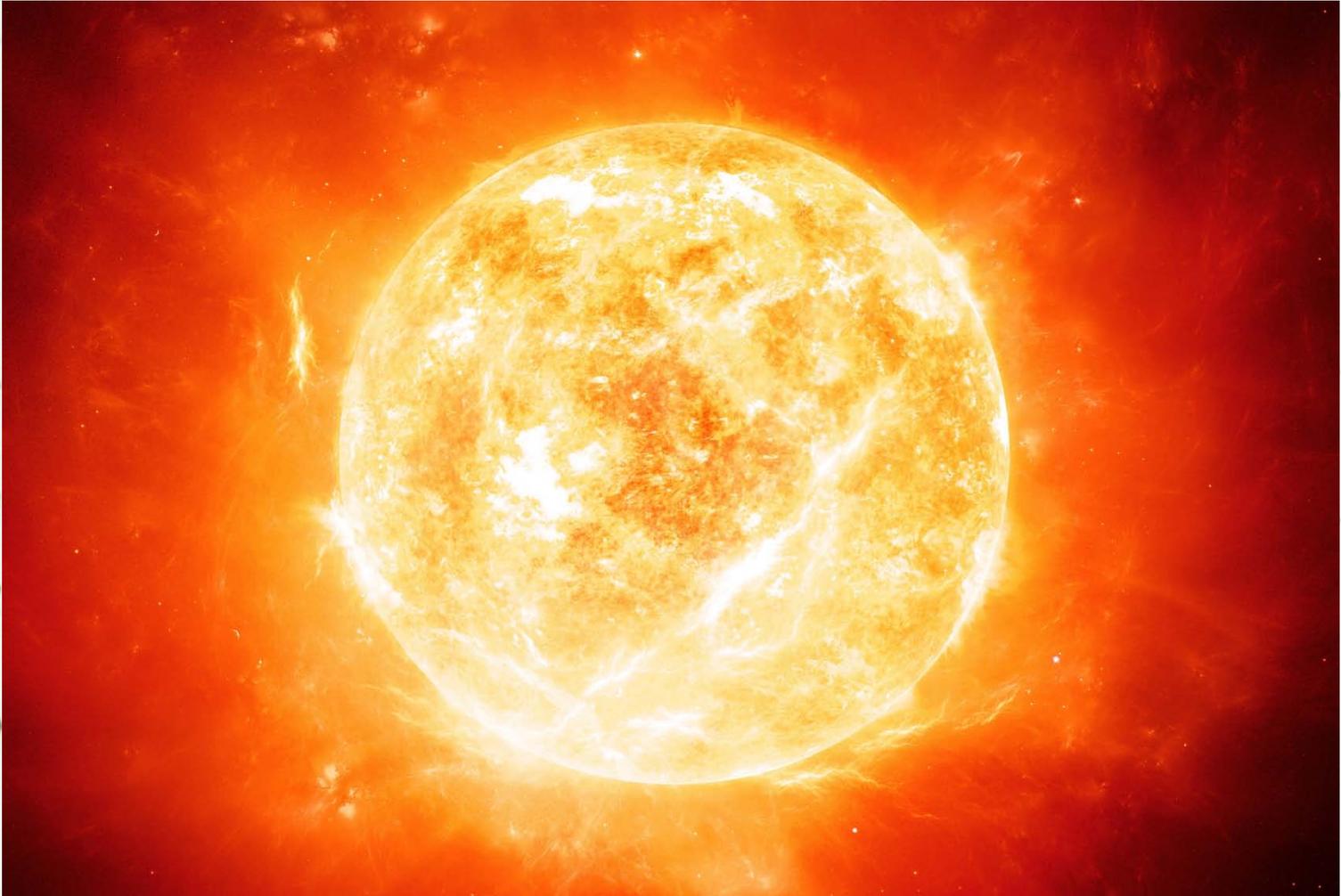


Il se crée un noyau de cendres d'hélium, qui n'est pas figé.

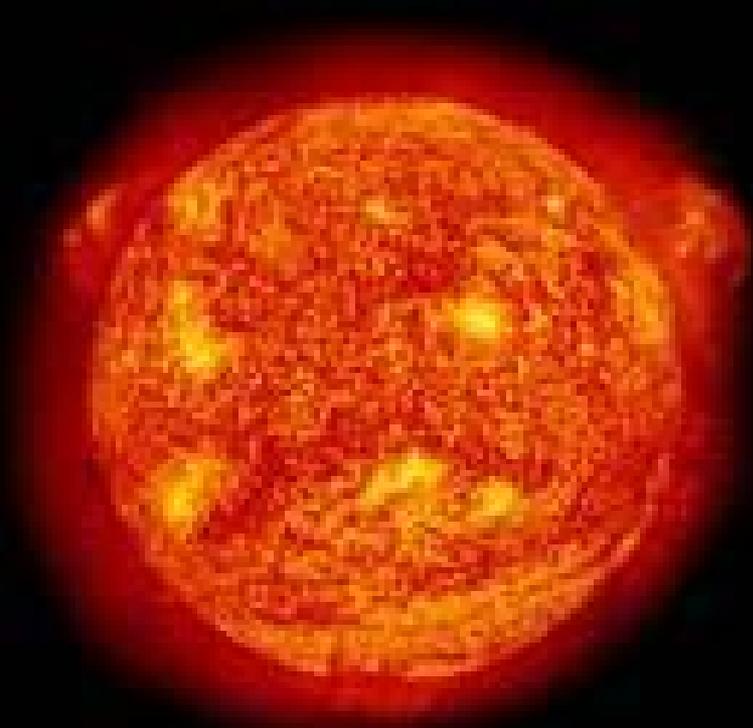
Quand la quantité restante d'hydrogène a bien baissé, et que la concentration en hélium atteint un certain seuil on passe à l'étape suivante.



La pression radiative (pression qui suit le rayons de la sphère) diminue et l'étoile se contracte. Ce phénomène entraîne une augmentation de la température et de la pression des couches intermédiaires, qui contiennent encore de l'hydrogène, et où se déclenchent alors des réactions de fusion. La pression radiative augmente à nouveau mais, provenant des couches externes, elle s'exerce tant vers l'extérieur, qui se dilate, que sur le noyau qui se contracte et augmente encore de température. Elle devient une sous-géante rouge.



Bételgeuse



étoile
Géante Rouge



étoile géante

Soleil



étoile naine



Arrivé à ce niveau tout dépend de la masse de l'étoile

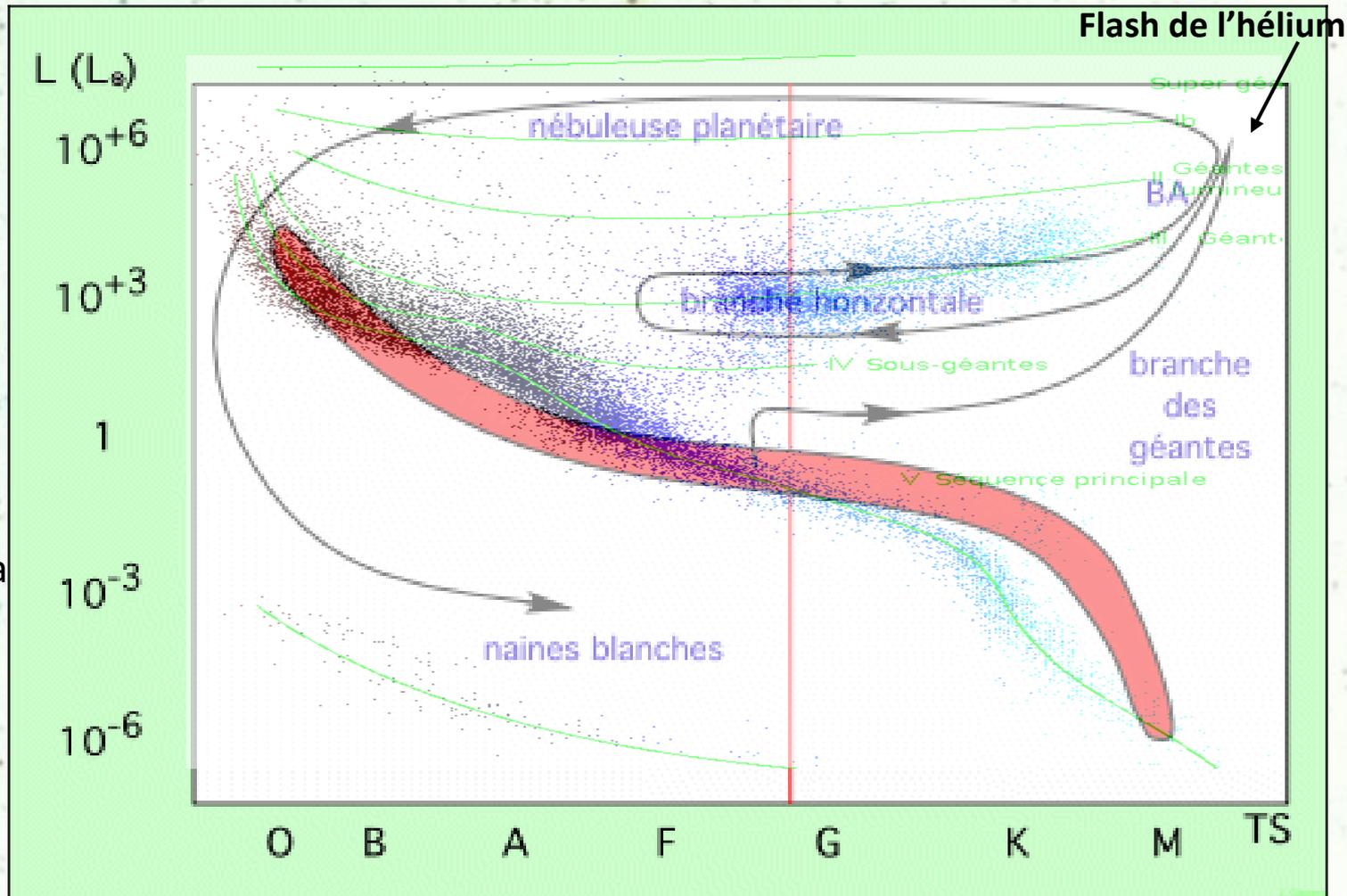
1) Exemple de l'évolution d'une étoile de 1,2 masses solaires.

C'est une étoile qui ne sera jamais assez chaude pour fusionner le carbone

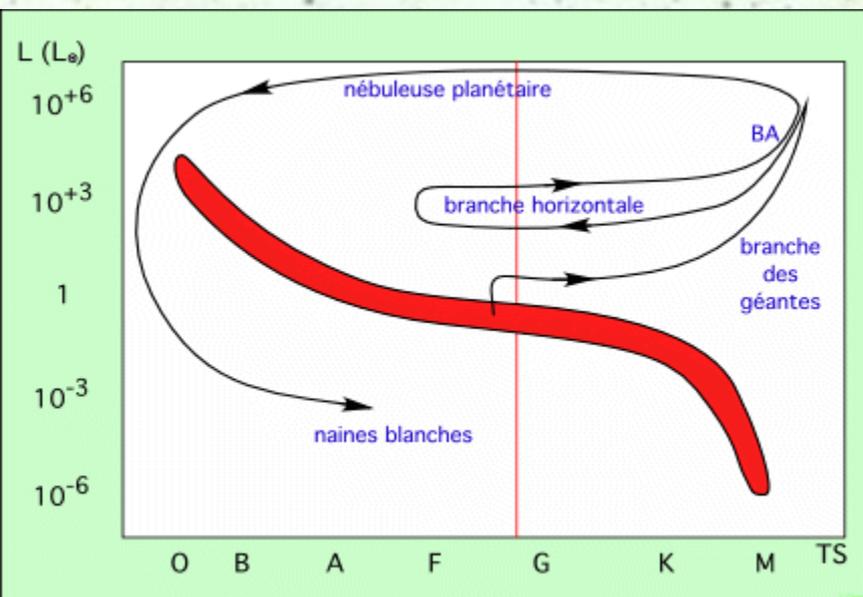
Voici son cheminement hors de la séquence principale

Elle devient de plus en plus lumineuse à cause de son diamètre croissant, à température pratiquement constante, ce qui donne une branche presque verticale

L'étoile continue son expansion des couches extérieures, tandis que son cœur de cendre d'hélium continue à se contracter par gravitation, ce qui augmente la température et cela jusqu'à atteindre 100 millions de degré, quand a lieu le flash de l'hélium.



Puis elle descend vers la branche horizontale, qu'elle parcourt dans les deux sens. Ensuite, à l'épuisement de l'hélium, elle reprend son ascension le long de la branche asymptotique, puis repart horizontalement (cette fois, sa luminosité est constante, c'est sa température effective qui augmente). En traversant cette portion horizontale, elle éjecte une grande partie de son enveloppe : elle donne une nébuleuse planétaire.



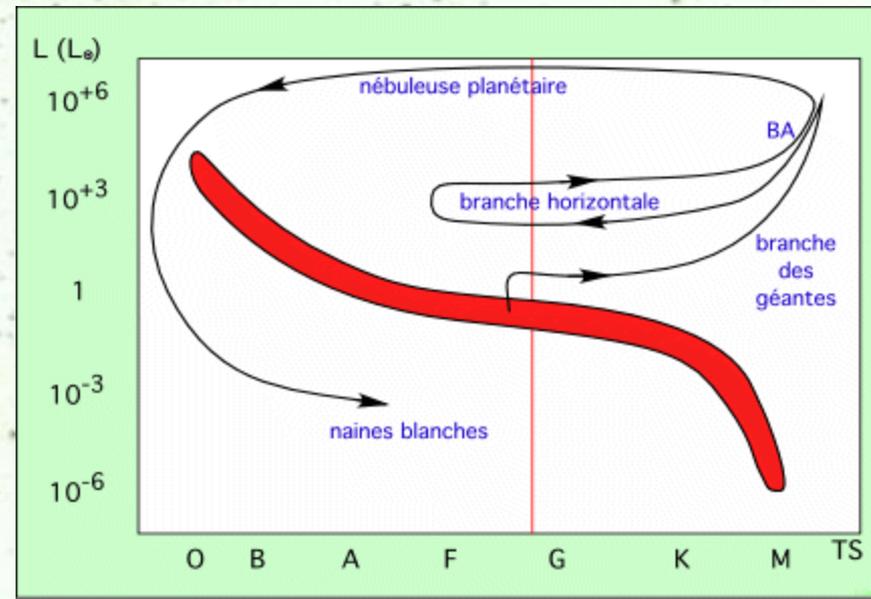
À 650 al, la nébuleuse Hélix (NGC 7293) est une des nébuleuse planétaire les plus proches de la Terre

▶ Ayant de moins en moins d'enveloppe, son cœur se trouve de plus en plus exposé, c'est pourquoi sa température effective augmente. Mais elle tient maintenant sur ses réserves, car elle n'est pas assez massive pour amorcer la fusion du carbone. Elle ne peut donc que rayonner de moins en moins, ce qui provoque sa descente dans le diagramme.

Arrivée en bas, elle est encore chaude, mais elle est devenue une naine blanche. En équilibre définitif par la pression de radiation des électrons, elle ne changera plus de diamètre, mais va simplement se refroidir en perdant peu à peu l'énergie qu'il lui reste. Lentement, elle ira donc de gauche à droite dans le diagramme, pour finir à l'état de naine noire, mais ceci prendra des milliards d'années.



M57 Nébuleuse de la Lyre



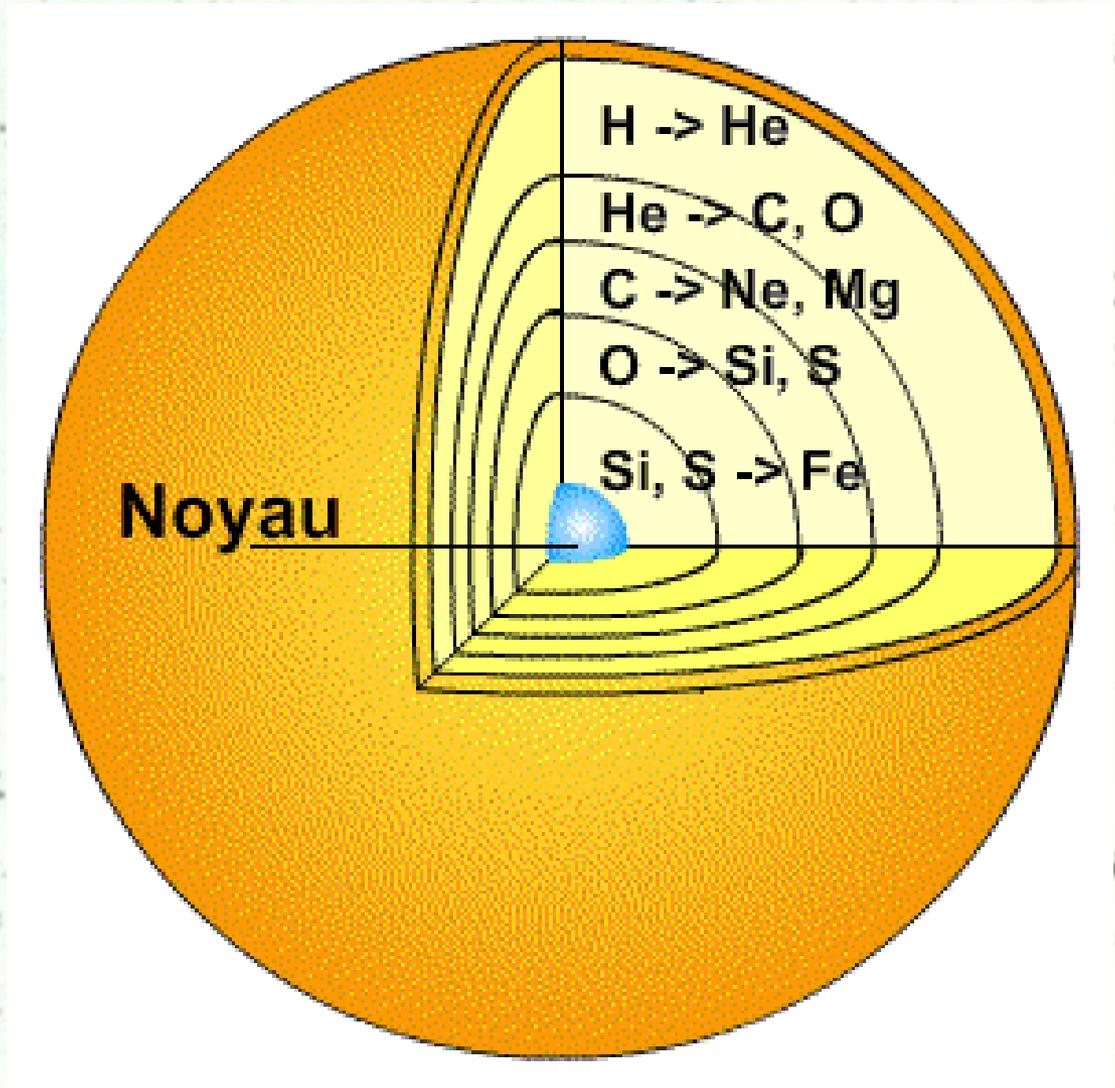
Voici maintenant la durée approximative de chaque phase

Phase	Durée (années)
Contraction proto-stellaire	70 millions
Séquence Principale	10 milliards
Expansion vers Géante Rouge	700 millions
Géante Rouge	30 millions
Expansion vers Super géante	20 millions
Super géante Rouge	350 millions
Processus vers Naine Blanche	75 millions
Naine Blanche, puis Naine Noire	50 milliards

2) **l'évolution d'une étoile massive**, elle pourra synthétiser plus que l'hélium. Pour une masse d'une dizaine de masses solaires on peut aller jusqu'à la synthèse du fer (élément stable qu'on ne peut fusionner).

Ici quand l'hélium se met à se transformer cela se fait tranquillement, pas de flash.

Après que tout l'hélium ait brûlé en carbone, on observe un effondrement du cœur de carbone sur lui même : Ce qui provoque une fusion de ceux ci pour donner du magnésium. A ce stade de l'évolution la température intérieure est supérieure à plusieurs centaines de millions de degrés. L'étoile a une structure en oignon et est devenue une supergéante rouge.



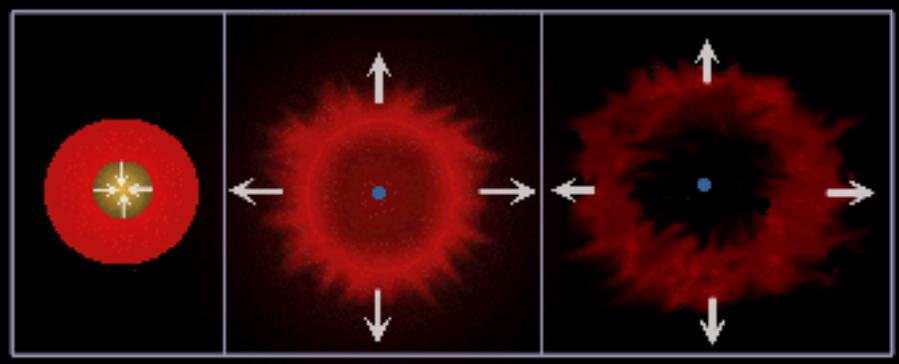


Nous avons maintenant un cœur de fer qui ne peut plus fusionner.
Et alors la gravité reprend le dessus, le cœur finit par ne contenir que des neutrons.
La matière en chute libre rebondit, il y a une explosion en supernova.

Grâce à l'explosion, le fer peut fusionner et les autres éléments sont créés (on va jusqu'à l'uranium).
Et tous ces éléments vont se disperser et ensemençer d'autres nuages moléculaires...



Le phénomène de la supernova



Implosion → Supernova → Résidu

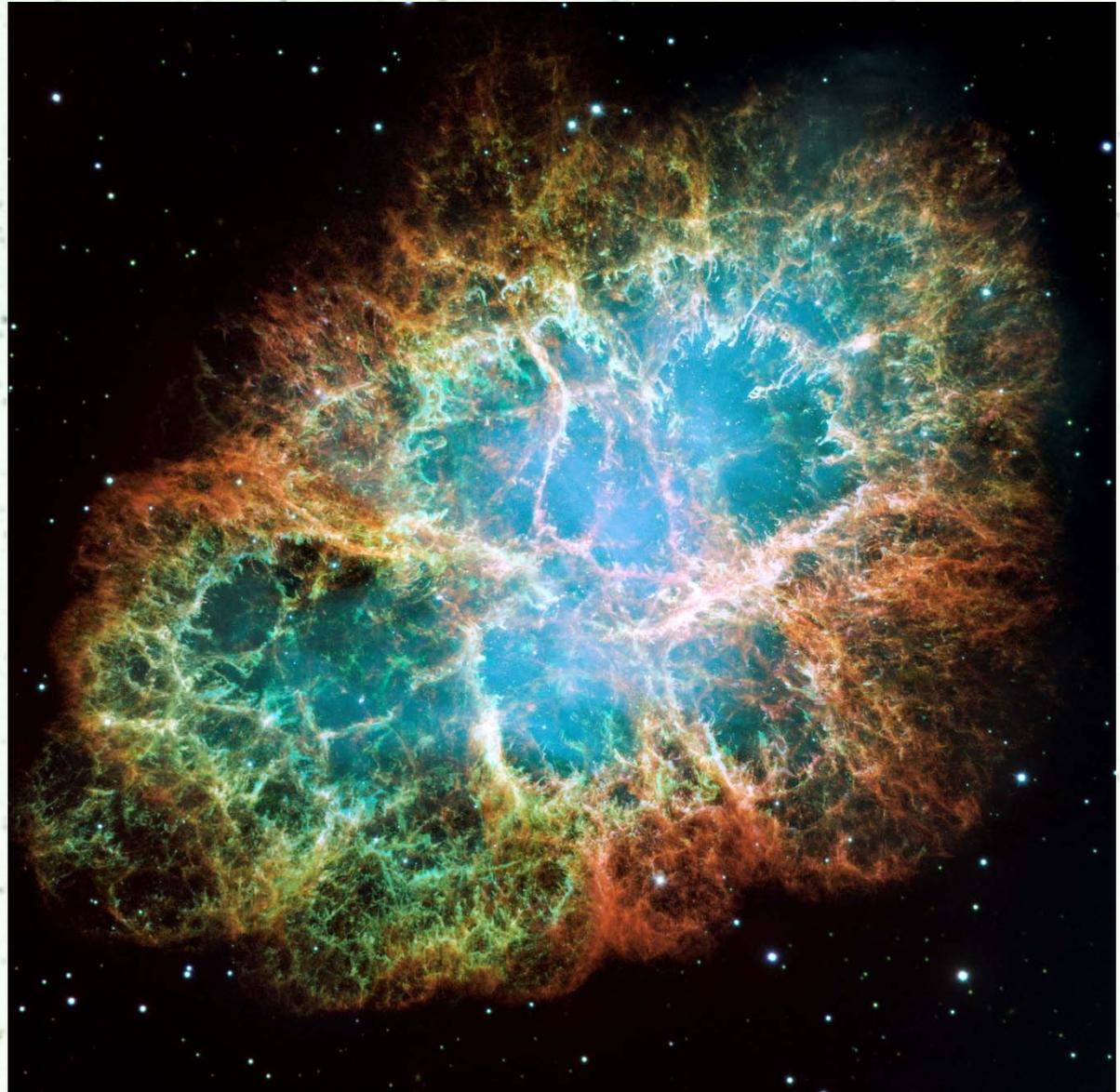
Celle-ci explose à une vitesse dramatique. On parle de 15 000 kilomètres par secondes !



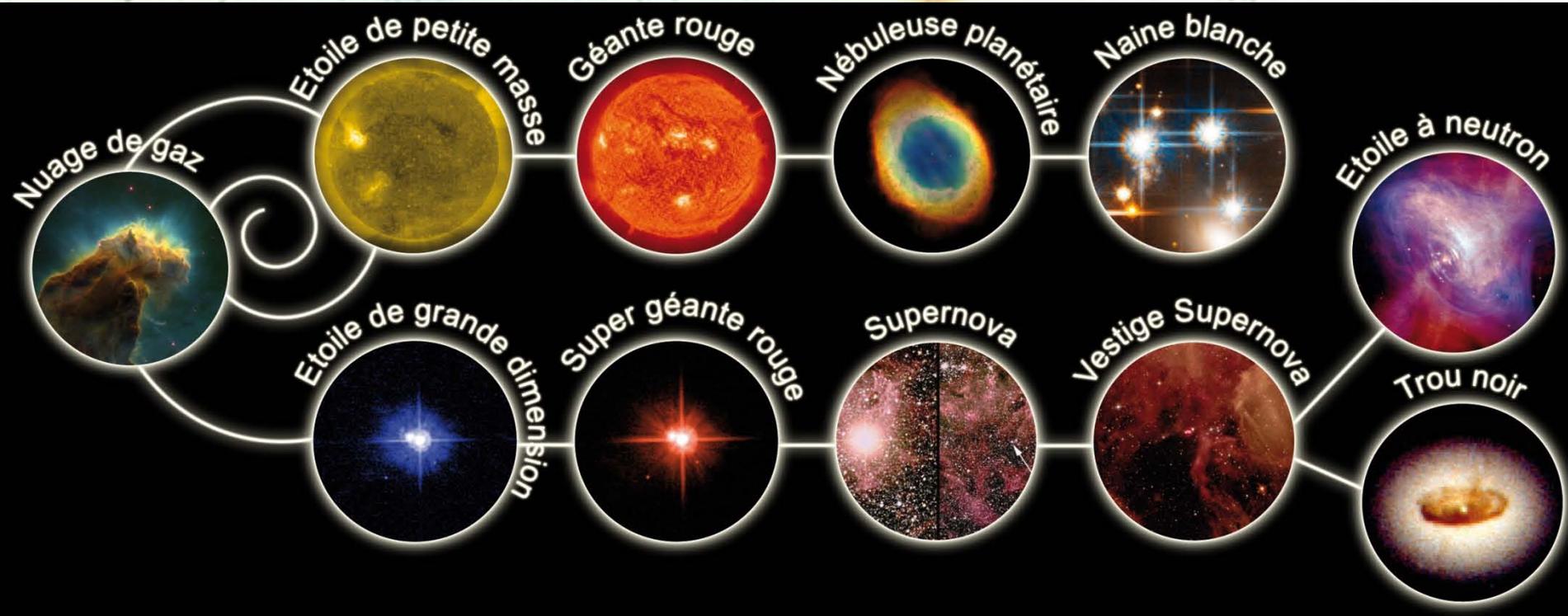
Mais il reste quelque chose...

- d'une part une coquille qui fera un rémanent de supernova
- d'autre part une étoile à neutron ou pulsar ou si l'étoile était très massive, un trou noir.

**M1 nébuleuse du crabe,
rémanent de la supernova de
1054**



En résumé voici un schéma qui en dira plus que de long discours...



Nous avons vu que les étoiles mourantes perdent beaucoup d'élément, tant en devenant nébuleuse planétaire qu'en explosant en Supernova.

Ces éléments sont de toute nature, puisque ça va de l'hydrogène à l'uranium. Et en plus quand il y a des nébuleuses compactes on a droit à une nouvelle série de naissance d'étoiles. C'est donc sans fin.

Par exemple on dit que notre Soleil est de troisième génération (en fait on dit population et on part à l'envers). Il est donc le « petit-fils » de la première étoile formée très tôt après le Big-Bang.

Comment le sait-on ?

En analysant les composés du Soleil, il contient environ 2% de « métaux » dont du fer et 27,3% d'hélium, c'est-à-dire autre chose que l'hydrogène et l'hélium.

En effet la première génération d'étoiles ne contenait quasiment que de l'hydrogène qu'elles ont d'abord transformé en hélium. Si on trouvait une telle étoile dans la séquence principale il n'y aurait rien d'autre.

