

## Vie et mort d'une étoile :

L'idée que les étoiles ont une vie ne date que du 19<sup>ème</sup> siècle car les croyances de l'époque, suggéraient des étoiles éternelles. Ce n'est que récemment que les physiciens se sont intéressés au processus stellaires, car ils pensaient qu'il pouvait leur apporter de nombreuses informations sur la formation du système solaire. Ils se sont vite rendus compte que la vie d'une étoile n'est pas simple car elle diffère en fonction de sa masse et de son type. En effet, il est fort probable, que vous ayez déjà regardé le ciel, en constatant que les astres n'étaient pas tous de la même couleur : certains semblent orangés, d'autres bleutés, certaines étoiles brillent fortement d'autres faiblement... Bref, chacun de ces petits points brillants a une histoire, il est passé par différents stades de l'évolution stellaire, parfois même par des périodes de crise, pour en arriver jusqu'à cette douce lumière qui a parfois mis plusieurs centaines d'années pour vous parvenir...

### La naissance des étoiles :

Cette étape est assez longue (quelque millions d'années). Les étoiles naissent dans les nébuleuses, ces nuages interstellaires que l'on observe parfois sur les magazines ou les belles photos d'astronomie. En effet dans l'espace, la densité de matière est très faible (un atome par centimètre cube), or dans ces nuages interstellaires, la densité atteint le millier ou le million d'atomes par centimètre cube ( ce qui reste peu par rapport aux mille milliards de milliards de notre atmosphère). Ces nuages interstellaires sont si grands que la lumière à parfois des difficultés à les traverser, c'est la raison pour laquelle, certains nous paraissent opaques, d'autres au contraire, sont éclairés par les étoiles qu'ils abritent.

Bref, qui dit matière, dit gravité. Les poussières (essentiellement de l'hydrogène et de l'azote) se rassemblent par la magie de Newton, et se contractent. Contraction est synonyme de chaleur, en effet, il suffit de gonfler les pneus d'un vélo pour se rendre compte que l'air comprimé dans la pompe s'échauffe, c'est ainsi que les étoiles s'allument. Pour des raisons encore inexpliquées, ce phénomène commence à la périphérie des nébuleuses. Les étoiles naissent par portées, qui forment les actuels amas ouverts, le nombre d'étoiles dans la portée dépendant de la nébuleuse mère. Ces nouveaux astres ne commencent pas à briller comme vous les voyez maintenant, mais ils s'allument en infrarouge (seuls les télescopes spéciaux comme ISO peuvent les observer), puis sous l'effet de la contraction, la température augmente et les étoiles peuvent briller rouge, puis jaune, bleu...

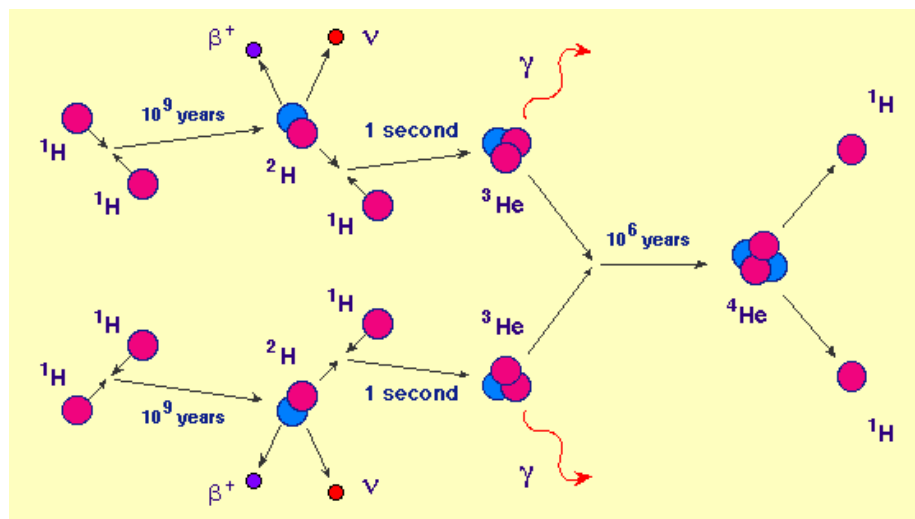
Dans cet immense brasier interstellaire qu'est l'étoile naissante, les atomes s'entrechoquent. De temps en temps des protons se rencontrent, et se combinent, lorsque quatre protons se combinent, il se forme un atome d'hélium, on parle de réaction nucléaire. Cette réaction ne peut démarrer à froid, heureusement la contraction décrite plus haut est là

L'astre, s'effondrerait sur lui-même sous l'effet de son propre poids, mais ces réactions nucléaires permettent de compenser cette contraction. L'étoile est née, elle pourra des années durant s'auto-alimenter en transformant l'hydrogène en hélium. Cette séquence est appelée par les astrophysiciens séquence principale, car il s'agit de la plus longue

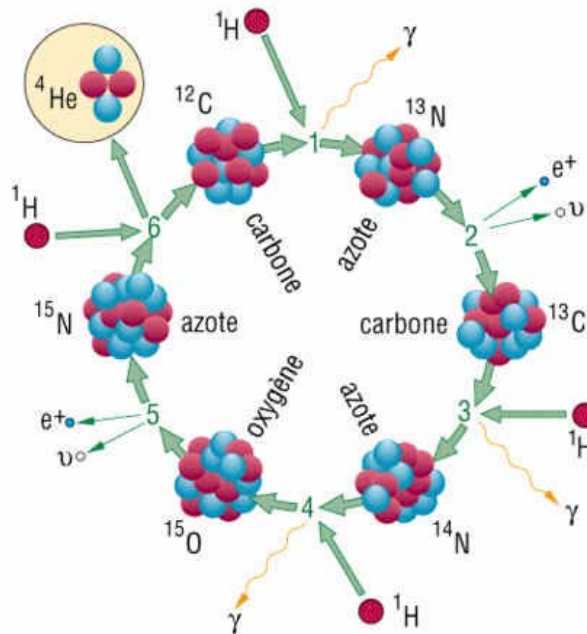
### La séquence principale :

Notre Soleil en est à cette étape. La fusion de l'hydrogène ne produit pas que de la lumière, mais aussi des neutrinos (ces célèbres particules sans masse, que l'on accuserait pourtant d'être responsables de la masse manquante de l'Univers). Ces neutrinos ne sont pas stoppés par la matière, il nous en provient du soleil continuellement.

Il existe en réalité deux cycles de transformation de l'hydrogène en hélium, le premier a été vu précédemment, il s'agit du cycle proton-proton :



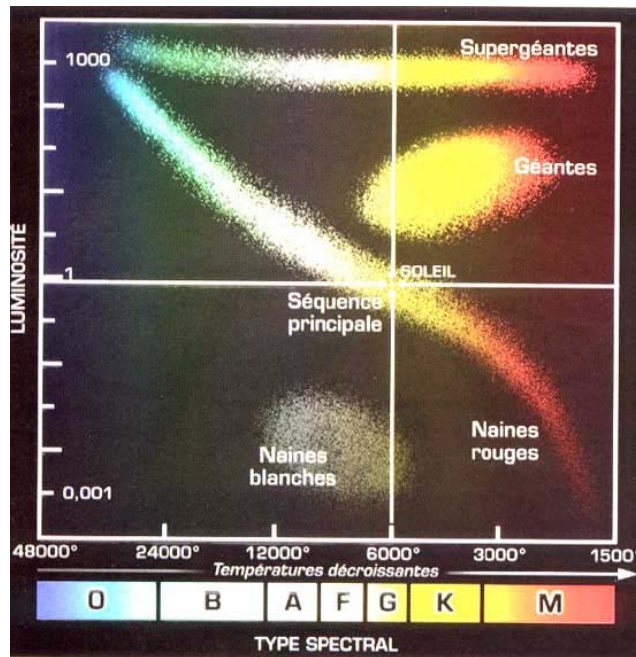
deux protons s'associent pour former du di-hydrogène, un proton vient encore s'ajouter pour former du tri-hydrogène, enfin deux atomes de tri-hydrogène se rencontrent pour créer un hélium et rejeter deux protons, en partis responsables du flux cosmique arrivant a la surface de notre terre.



Le second cycle est celui du carbone-azote qui est un peu moins long (336 millions d'années) et est plus générateur mais aussi plus consommateur de proton. De nombreux cycles sont simultanément en cours. Le carbone sert de catalyseur.

Le cycle carbone-azote est plus présent aux fortes températures. Or les étoiles de masses plus importantes sont plus chaudes, pour celles-ci, c'est alors le cycle du carbone-azote qui prédomine. Pour le Soleil, ou des étoiles encore moins massives, c'est le cycle proton-proton qui est le plus productif. Donc les étoiles massives en raison d'une température plus grande usent leur stock d'hydrogène plus rapidement (car le cycle est plus court).

En résumé plus une étoile est lourde, plus elle brillera bleu a cause de la température et plus sa vie sera courte, à l'inverse, une étoile légère économisera son stock, pour vivre plus longtemps, et briller d'une lumière jaune voire rouge. Pour connaître la température des étoiles en fonction de leur masse, il existe un diagramme : celui de Hertzsprung-Russel :



### Le stade supergéante :

Arrivé à un certain stade de son évolution, l'étoile a utilisé une bonne partie de son hydrogène central, les deux cycles précédents ne suffisent plus à équilibrer les forces de gravitations et le cœur se contracte. La température augmente et de nouveaux cycles apparaissent : l'hélium crée le béryllium, le tritium, le bore, le carbone. A noter que c'est précisément ici que les premiers atomes de carbone de l'univers se sont formés, à partir d'étoiles qui ne produisaient de l'énergie qu'à travers le cycle proton-proton. L'étoile continue de prendre l'ascenseur thermique et cette fois-ci, c'est le carbone qui rentre en réaction par le processus de Salpeter. Pendant ce temps le cycle de l'hydrogène peut continuer sur des couches plus périphériques où la température est plus faible. Cette fois-ci l'énergie est telle que les forces de pression sont très fortes, la surface finit par gonfler considérablement, la luminosité par unité de surface diminue et l'étoile devient rouge, on parle de géante rouge.

Les géantes rouges sont de véritables laboratoires de chimie nucléaire, les principaux éléments de la nature y sont créés (fer, calcium...). Notre Soleil adoré, en arrivera à ce stade dans environ quatre milliards d'années. Dans le cas des géantes rouges, on peut observer de légères fluctuations dans leur éclat car l'équilibre n'est plus aussi bon qu'avant.

### Mort des étoiles :

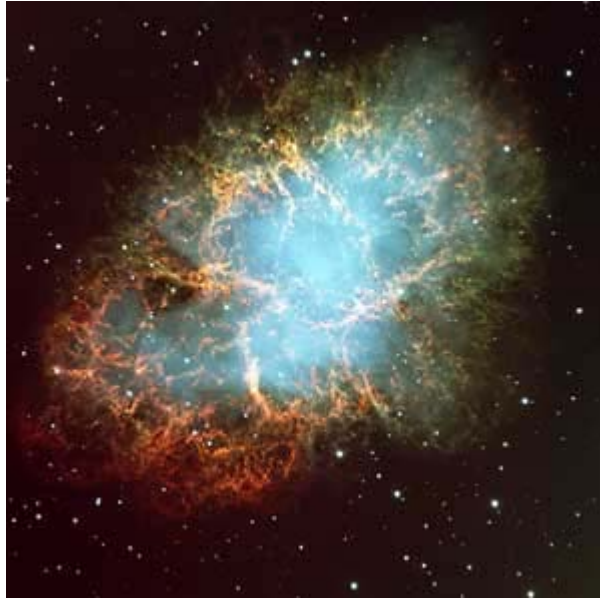
Les étoiles peuvent mourir de différentes façons, certaines, les plus légères, agonisent : Lorsque, le carbone ne peut plus se combiner pour former

des éléments lourds, l'équilibre se brise et l'enveloppe se sépare du noyau, il se forme alors une nébuleuse planétaire : une vaste enveloppe de gaz se répand dans l'espace laissant une naine blanche agoniser (les restes du noyau). Les naines blanches sont très denses (1 tonne par centimètre cube) et peuvent mettre encore 1 à 10 milliards d'années pour s'éteindre complètement et devenir une naine noire (invisible). Pour ces étoiles ce sont les lois de la mécanique quantique qui maintiennent l'équilibre : les électrons gagnent de l'énergie à cause de la contraction. Cette énergie est convertie en vitesse, ce qui crée une *pression de dégénérescence*. C'est cette pression qui maintient l'équilibre de notre naine blanche et qui la fait briller encore quelques milliards d'années. Les étoiles de masse inférieure à 1.4 masses solaires passent par ce stade.

Les deux autres stades sont assez complexes et beaucoup plus rares, se sont des cas de supernovae. A la fin de la vie de l'étoile massive, le noyau ne comporte que des éléments lourds (fer, cobalt...), le processus de combinaison de ces éléments demanderait de l'énergie plutôt que d'en produire... La température est si élevée que les éléments lourds sont désintégrés, ce qui nécessite de l'énergie, la pression diminue et il se produit un effondrement. A cela s'ajoute un autre phénomène trop complexe pour être expliqué ici mettant en œuvre les électrons et qui vient lui aussi favoriser l'effondrement gravitationnel. Ces phénomènes engendrent un effondrement très rapide (moins de 0.1s), l'onde de choc fait exploser les couches extérieures de l'étoile qui brille alors considérablement : c'est une supernovae.



Les restes de supernovae se répandent dans l'espace, dispersant ainsi une série d'éléments nouveaux servant à constituer le cortège planétaire des futures étoiles. Ces restes sont à l'origine des nébuleuses.



Les résidus forment les étoiles à neutrons également appelées pulsars puisqu'en quelques sortes elles scintillent très vite. Ce résidu atteint une dizaine de kilomètres de diamètre : c'est la pression de dégénérescence des neutrons cette fois-ci qui prend le relais. Sa densité est alors extrême (des millions de tonnes par centimètre cube). Dans cet enchevêtrement, les noyaux se cassent, on retrouve les neutrons au cœur et les protons à la surface. Une partie de leur surface seulement continue à briller or comme elles tournent très vite elles « pulsent ». Ces étoiles sont donc l'autre cause de l'existence du rayonnement cosmique sur terre. Pourquoi tournent-elles si vite ? P parce que toute les étoiles tournent, mais en se contractant elles gardent leur moment cinétique donc elles augmentent leur vitesse angulaire (comme une danseuse qui met les bras contre son corps pour accélérer sa rotation). Ce sont des astres, je l'avoue assez exotiques, mais pas autant que leur confrère les trous noirs...

Les trous noirs, sont eux le stade ultime de l'évolution stellaire. Ils proviennent d'astres si lourds que leur effondrement provoque une contraction très violente, si violente même que ni la pression de dégénérescence des électrons ni celle des neutrons suffit à l'arrêter. Le résidu appelé singularité ne mesurerait que  $10^{-35}$  m ! A proximité d'un tel objet, les lois de Newton ne sont plus valables, et se sont les lois de la relativité d'Einstein qui s'appliquent, il en résulte par exemple que la lumière est déviée à proximité d'un tel astre. D'autre part, dans un rayon suffisamment petit autour de la singularité la lumière ne peut s'échapper, on observe donc l'horizon du trou noir sur ce rayon. On ne peut voir ce qui se passe à l'intérieur de cet horizon qui nous apparaît sphérique. Une autre conséquence amusante est que le rayon de cette sphère n'est pas égal au rapport de sa circonférence par  $2\pi$  ! ( la géométrie euclidienne ne peut pas s'appliquer non plus) mais il est bien supérieur, peut être infiniment, d'où le nom de trou noir. Ces astres sont de véritables cannibales qui engloutissent tout

ce qui passe un peu trop près, mais où s'en va toute cette matière ? Libre cours à votre imagination, les astrophysiciens ne savent pas encore !

Voilà, vous en savez d'avantage sur la vie des étoiles qui peut être est finalement plus simple que la notre. Les étoiles naissent de nébuleuses pour redevenir nébuleuses, comment sont apparues les premières étoiles ? C'est la question de l'œuf et de la poule, qui fera peut être l'objet d'un futur article, néanmoins ce qui est sur c'est que tout ce processus a au moins permis une chose : la création des atomes qui font que nous sommes là, à lire ces lignes et à nous dire qu'en quelques sorte les étoiles nous ont donné naissance.

*Bertrand POLLET*

Bibliographie :

Patience dans l'azur	Hubert Reeves
Poussières d'étoiles	Hubert Reeves
Trous noirs et distorsion du temps	Thorne
La brève histoire du temps	Stephen Hawking (internet)
Atlas de l'astronomie	
Encyclopédie Hachette Multimédia	
Internet	

