

ASTRONOMIE - ET L'UNIVERS DANS TOUT ÇA !?

Les bienfaits des étoiles primordiales

Texte : J.-L. Ricci

Les anciens croyaient que les étoiles étaient éternelles et fixes sur la voûte céleste qui tournait autour de la Terre !

Maintenant nous savons que les étoiles naissent, vivent et meurent en ce recyclant sans cesse, à un rythme très lent mais immuable tout au long de l'évolution de l'Univers. Commençons par les étoiles primordiales.

Comment sont-elles nées ?

Au tout début de l'Univers il y a 13.7 milliards d'années, il n'y avait que de l'énergie en quantité astronomique... Ni la matière, ni le temps, ni l'espace n'existaient. Très vite l'énergie s'est transformée en particules élémentaires telles que les étudie le CERN. En moins de trois minutes elles se sont transformées en protons et électrons qui, à leur tour en s'associant de manière la plus simple possible, ont donné un univers constitué de 90% d'hydrogène (1 électron qui gravite autour d'1 proton) et de 10% d'hélium (2 électrons qui gravitent autour de 2 protons et 2 neutrons).

Heureusement, ces gaz n'étaient pas répartis de manière totalement homogène car sinon, il ne se serait plus rien passé. Il y avait des endroits légèrement plus denses que d'autres. Les endroits plus denses ont petit à petit attiré les zones moins denses par force de gravité. En 400 millions d'années, ces concentrations ont été tellement fortes que leur cœur a atteint une dizaine de millions de degrés, ce qui a déclenché la réaction de fusion nucléaire de l'hydrogène en hélium. Dès ce moment, la pression radiative, due à la fusion, a contrecarré l'effondrement gravitationnel, lui donnant la forme d'immenses ballons. Les étoiles primordiales sont nées.

Mais avec une si faible diversité d'atomes et de molécules, ce n'était qu'un univers très pauvre qui n'aurait pas donné grand-chose s'il en était resté là...

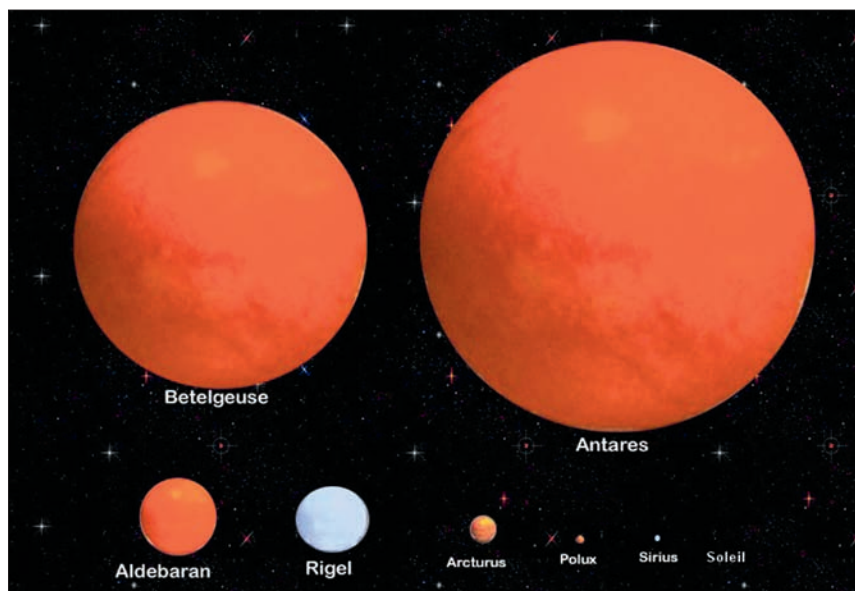
Comment ont-elles évolué ?

La plupart de ces étoiles étaient très grosses, plusieurs centaines de fois le Soleil. Leur grosseur induisait une combustion très forte qui les rendait très chaudes et très brillantes mais ne leur assurait qu'une durée de vie assez courte de quelques dizaines de millions d'années.

Pour mieux fixer les idées, voici une comparaison des tailles des étoiles, d'une des plus petites, le Soleil (le minuscule point jaune en bas à droite) à une des plus grandes connues aujourd'hui, Antares du Scorpion juste au dessus...

Typiquement, une étoile de 100 fois la masse du soleil brûle son cœur d'hydrogène en une dizaine de millions d'années, le transformant en hélium par fusion nucléaire. Les protons de l'hydrogène fusionnent 4 par 4 pour former un atome d'hélium en perdant 0,7% de leur masse qui se transforme en énergie selon la formule d'Einstein $E = M.c^2$ (énergie égale masse fois vitesse de la lumière au carré). Rappelons que la vitesse de la lumière est de 300'000 km/s. Cette profusion d'énergie lui procure une température de surface de plus de 100'000 degrés.

Puis, quand l'hydrogène central commence à manquer, la pression radiative diminue et le cœur s'effondre d'un cran sous la gravité, ce qui fait augmenter rapidement sa température à une centaine de millions de degrés. Cela déclenche la fusion nucléaire de l'hélium le transformant en carbone. L'opération dure environ un million d'années. Puis, c'est au tour du cœur d'hélium de s'effondrer encore d'un cran atteignant les 600 millions de degrés qui permettent au carbone d'entrer en fusion nucléaire et générer de l'oxygène. Ainsi de suite, c'est au tour de l'oxygène de former du néon pendant une année environ. Ensuite se forme successivement du magnésium et de l'aluminium pendant un mois. Puis du silicium, du soufre et du calcium pendant une semaine et enfin du fer pendant le dernier jour. À ce stade, tout le cœur de l'étoile ressemble aux enveloppes successives d'un oignon avec



Nous sommes bien peu de chose dans l'Univers...

les atomes les plus légers vers l'extérieur, les atomes les plus lourds vers le centre. Puis cela s'arrête brutalement car la transformation en fer, au lieu de libérer beaucoup d'énergie par perte de masse comme les autres transformations nucléaires, absorbe de l'énergie et agit comme un extincteur. L'étoile ne rayonne plus et s'effondre définitivement.

Comment s'est passée leur fin de vie ?

Une véritable implosion-explosion cataclysmique.

L'effondrement énergivore du cœur lors de sa transformation en fer entraîne une telle contraction de la matière que les électrons fusionnent avec les protons pour ne former plus que des neutrons agglomérés les uns contre les autres en moins d'une seconde. Il n'y a plus d'atomes ni d'orbites électroniques. La matière acquiert son état de densité extrême : mille milliards de tonnes par cm^3 . L'étoile à neutrons résiduelle mesure dans les 30-40 km de diamètre avec une masse colossale de 1.5 à 3 fois la masse du Soleil.

Cet effondrement génère une terrible onde de choc multidirectionnelle qui va expulser les couches externes à des vitesses extrêmes similaires à celle de la lumière. Cela va générer une explosion lumineuse tout aussi extrême de l'ordre de 10 milliards de fois la luminosité du soleil.

On les qualifie de supernovae.

Les bienfaits des supernovae

Le cataclysme extrême des supernovae est très bénéfique à au moins deux titres. L'énergie extrême engendrée par la fusion du cœur en neutrons va :

- d'une part transformer le fer environnant en une soixantaine d'éléments plus lourds qui complètent totalement le tableau périodique des éléments. Saluons au passage, le mercure, le plomb, le platine, l'argent, l'or, ou encore l'uranium...

- d'autre part expulser toutes les couches des différents atomes hors de l'attraction de l'étoile à neutrons résiduelle, les rendant disponibles pour les générations suivantes d'étoiles qui vont pouvoir ainsi créer des systèmes planétaires complexes dont certaines seront source de vie...

Notre propre Soleil est une étoile de troisième génération qui en a bien profité lors de sa création...

Incroyable mais vrai !

C'est toute cette saga qui a fait dire au très médiatique astrophysicien Hubert Reeves que nous sommes tous des poussières d'étoiles.

<https://home.cern/fr/about/physics/early-universe>

https://fr.wikipedia.org/wiki/étoile_de_population_III

https://fr.wikipedia.org/wiki/Tableau_périodique_des_éléments

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Supernova>

