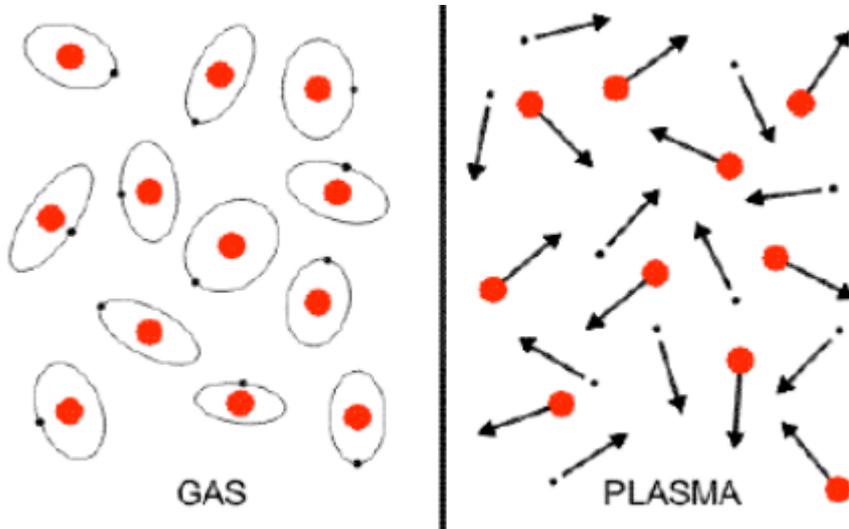


Mais au fait, comment naît, vit, et meurt une étoile ?

écrit par Professeur Tetenlair | 21 avril 2021



Content de te retrouver, mon ami patriote curieux d'astronomie. Quand j'écris ces articles sur l'Univers, je pense toujours au plaisir qu'auront les lecteurs de découvrir des choses fantastiquement merveilleuses dans la plus grande simplicité possible.

On va donc attaquer cette semaine quelque chose que l'on voit toutes les nuits et qu'il faut quand même connaître un peu : les étoiles. Comment naît une étoile, que fait-elle durant sa vie, comment peut-elle vivre et comment meurt-elle. Sacré programme !

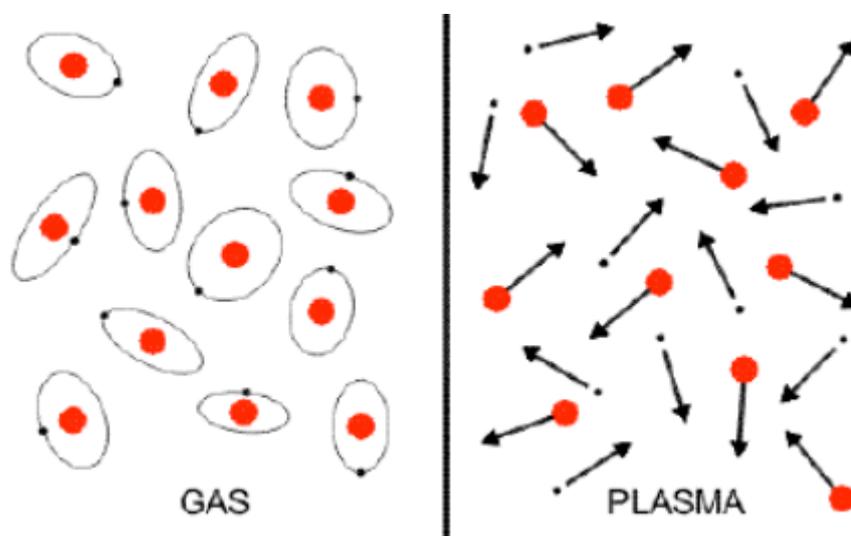
Alors, bien évidemment, les choses sont quand même bien compliquées. Mais, pour ne pas que tu zappes sur un autre article dès maintenant ☐ je vais essayer de la faire le plus simple possible et la plus intéressante possible.

Qu'est-ce qu'une étoile ?

Outre un point lumineux visible la nuit dans le ciel, une étoile est un corps céleste se présentant comme une boule massive et lumineuse de plasma. Bon, ça commence, Professeur

Tête en l'air, c'est quoi du plasma en astrophysique ? C'est un gaz où les molécules n'existent pas (bizarre, hein ?) car il fait tellement chaud que les atomes – qui composent lesdites molécules – sont si chauds qu'ils deviennent ionisés en se morcelant en ions de charges positives ayant des électrons de charges négatives.

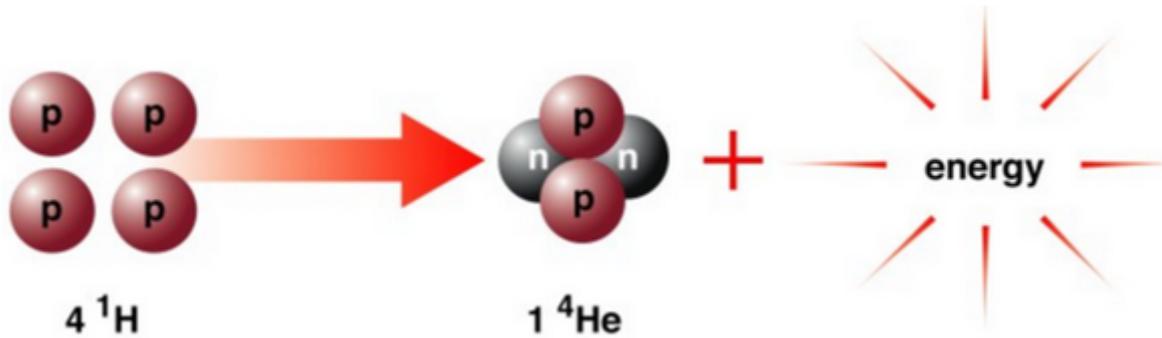
Dans le schéma ci-dessous tu vois à gauche la constitution d'un gaz normal. Après un événement, tout cela a éclaté, et tu ne vois plus que les ions positifs (en rouge) et les électrons négatifs (en noir). Ici l'événement, il est permanent, c'est l'extrême chaleur qui règne au sein de cette boule.



Ces réactions dites de fusions nucléaires libèrent de l'énergie sous forme de photons, et donc de lumière. Tu te doutes bien, ma frangine, qu'il s'agit là d'une énorme quantité d'énergie.

Les étoiles se composent de 90 % d'hydrogène, de 9 % d'hélium et d'une fraction d'éléments plus lourds. Cette fusion thermonucléaire, dans la bagarre, perd une partie de matière en dégageant une énergie colossale.

Mais, le résultat est que la masse du noyau d'hélium créé est moins importante que celle des 4 noyaux d'hydrogène. Cette énergie se dirige vers la surface de l'étoile en luttant contre la force de gravité qui attire tout vers le centre.



C'est bon, ça gaze ? Une petite précision : ne pas confondre :

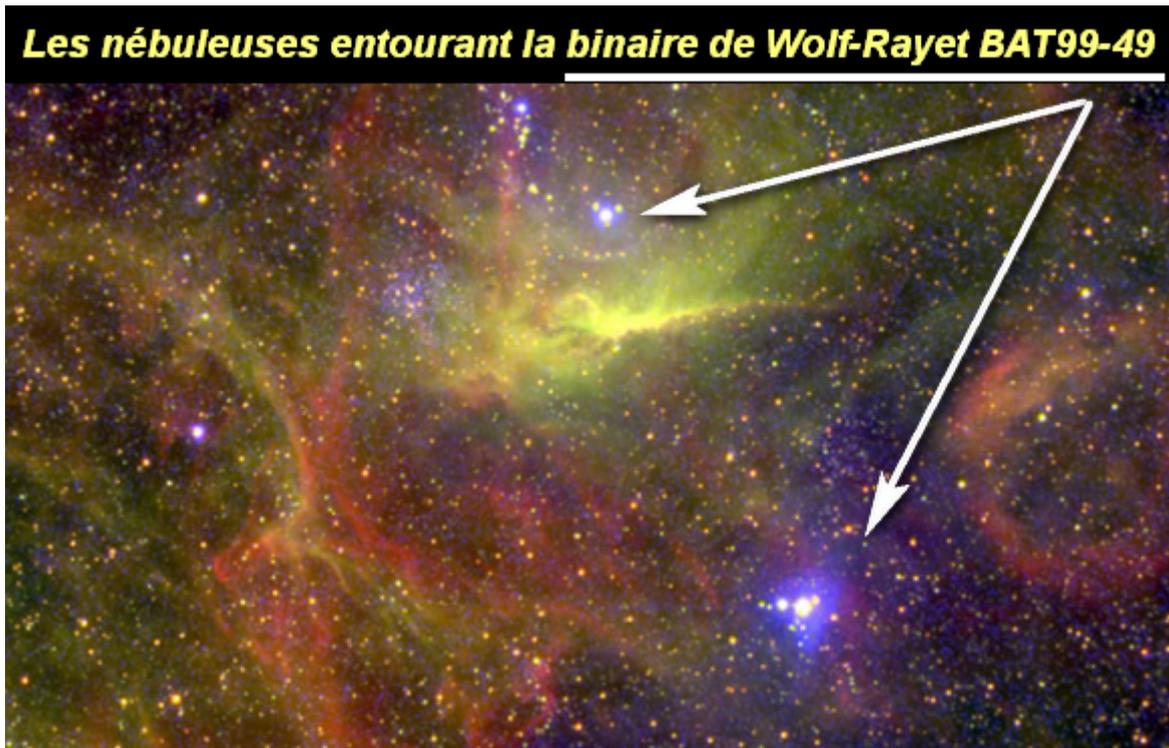
- la fission des atomes d'uranium (= centrales nucléaires). La fission des atomes d'uranium produit de la chaleur, chaleur qui transforme alors de l'eau en vapeur et met en mouvement une turbine reliée à un alternateur qui produit de l'électricité.
- la fusion de l'hydrogène qui nous concerne.

Donc, une étoile, c'est une boule de gaz très chaude : plusieurs millions de degrés au centre (température qui est suffisante pour déclencher les réactions nucléaires), et plusieurs milliers de degrés en surface.

La question est donc pourquoi l'étoile n'implose pas sous l'effet de sa gravité ou n'explose pas sous l'effet des réactions thermonucléaires qui sont contraires à la gravité ? C'est parce que, durant une grande partie de sa vie, les deux forces qui sont opposées s'équilibrent. On verra tout à l'heure que quand ses forces rentrent dans un déséquilibre, c'est le début de la fin de l'étoile.

Il existe de nombreux types d'étoiles. Il y a ce qu'on appelle des systèmes binaires et même multiples, formés de deux ou plusieurs étoiles gravitationnellement liées et qui se déplacent généralement l'une autour de l'autre sur des orbites stables. Les étoiles peuvent faire partie d'une structure gravitationnellement liée beaucoup plus large, comme les amas ouverts, les amas globulaires (voir l'article de ton serviteur sur les amas publiés dans RR en [cliquant ici](#)) et bien sûr les galaxies. Notre Voie lactée contiendrait environ 200 à 300

milliards d'étoiles selon les estimations des astronomes.



La plupart des étoiles ont un âge compris entre un et dix milliards d'années. L'une des plus anciennes étoiles découvertes est l'étoile de Caffau (nommée SDSS J102915+172927), dont l'âge serait supérieur à 13 milliards d'années.

**SDSS J102915 172927 vue par le VLT de l'ESO, vu par
l'Observatoire européen austral (en anglais : European
Southern Observatory, ESO)**



Plus une étoile est massive, plus elles brûlent rapidement son carburant nucléaire. Les étoiles les plus massives vivent quelques millions d'années, tandis que des étoiles comme les naines rouges brûlent leur carburant très lentement et durent des dizaines, voire des centaines de milliards d'années. L'une des étoiles les plus massives connues est Eta Carinae, dont la masse est estimée entre 100 et 150 fois celle du Soleil est au bord de l'explosion.

Eta Carinae-Center La partie centrale de l'extension Eta



Ci-dessous un petit film de 6"03' expliquant la vie d'une

étoile.

Comment naît une étoile ?

Les étoiles naissent à l'intérieur de nébuleuses, nuages de gaz et de poussière, qui peuvent être obscures ou brillantes. Ces nébuleuses sont réparties dans l'espace interstellaire des galaxies. Leur matière se condense sous l'effet de la gravité.

Lorsqu'un nuage s'effondre sur lui-même sous l'effet de sa propre gravité, la matière se contracte et forme un ou plusieurs noyaux. Chaque noyau, sous l'action de la compression, devient de plus en plus chaud. À partir de 10 millions de degrés commencent des réactions de fusion nucléaire ci-dessus expliquées. Se dégage alors une telle énergie que l'étoile naissante cesse de se contracter, atteint un état d'équilibre stationnaire et se met à briller.

Ensemble appelé Montagne mystique situé dans la nébuleuse de la Carène. Elle se trouve à 7500 années-lumière de la Terre. Photo du télescope Hubble de la NASA.



Etoiles et Nebuleuses W5 131300



La formation des étoiles est un processus long qui dépend de la masse de l'étoile, un million d'années pour une grosse étoile à un milliard d'années pour une petite. Ce processus est aussi intéressant puisqu'il s'inscrit dans la continuité. Les vieilles étoiles fournissent la matière et l'élément déclenchant en explosant. L'univers assure ainsi sa pérennité en créant sans arrêt de nouvelles étoiles pour remplacer les mourantes.

Les grandes lignes de la formation des étoiles sont connues, mais lorsqu'on cherche à entrer dans les détails, les mystères s'accumulent. On sait que pour que s'amorce la formation d'une étoile, il faut qu'apparaissent des fluctuations de densité de matière qui possèdent certaines caractéristiques. Ainsi, un nuage de poussières et de molécules doit avoir, pour s'effondrer, une masse supérieure à ce que l'on appelle la masse de Jeans. Celle-ci dépend de la densité et de la température du nuage. S'il est trop chaud ou trop peu dense, la contraction gravitationnelle aboutissant à une étoile n'est pas possible. Bien souvent, lorsqu'un nuage se condense, il se fragmente en zones plus denses et plus chaudes, et c'est ainsi que des centaines d'étoiles peuvent se former presque simultanément à partir d'un seul nuage moléculaire.

Ces nuages sont très froids, avec des températures de l'ordre de 10 K. Ils peuvent contenir jusqu'à un million de masses solaires et atteindre une taille de l'ordre de 150 années-lumière environ. Ils rayonnent peu, et surtout sont opaques à la lumière visible... mais pas à la lumière infrarouge.

Voici un petit film de 2' 43" qui résume la naissance des étoiles.

Comment meurt une étoile ?

La durée de vie des étoiles est limitée. Durant leurs vies,

elles transforment tout leur hydrogène en hélium, puis quand l'hydrogène est épuisé, c'est au tour de l'hélium de se consumer. Ceci dure plusieurs milliards d'années. Arrivé à ce stade, le noyau de l'étoile s'effondre (effondrement gravitationnel) sur lui-même en s'échauffant et l'atmosphère qui l'entoure se dilate en refroidissant. L'étoile grossit progressivement alors pour devenir, ce que les astronomes appellent, une géante rouge qui peut atteindre de cinquante à cent fois sa taille d'origine.

Selon leur masse initiale, elles mourront ensuite discrètement en naines blanches ou de façon spectaculaire en supernova ; dans ce second cas leur agonie peut même les conduire au stade de trous noirs.

Cette photo montre une étoile en fin de vie qui a relâché un gigantesque nuage de gaz. Ce dégagement stagne autour du reste du corps céleste, qui n'est plus qu'une étoile de type naine blanche : c'est le petit point blanc au centre. On donne à un tel ensemble le nom de nébuleuse planétaire. Photo prise par le télescope Hubble de la NASA / Esa



Qu'est-ce que les naines blanche et naine noire ?

Une naine blanche est l'astre le moins massif résultant de l'effondrement gravitationnel. C'est le coeur d'une étoile géante rouge qui a épuisé son carburant stellaire, et s'est rétréci sous l'effet de la gravité alors que son atmosphère, très instable, se dilue dans l'espace. Ainsi, l'effondrement gravitationnel est stoppé par une pression interne des atomes mêmes de l'étoile, qui sont tassés au maximum ; c'est la pression de dégénérescence.

À ce moment, les électrons dégénérés exercent une pression qui peut être suffisante pour stopper la gravité, mais seulement si le coeur a une petite masse. La naine blanche continue alors à briller, mais aucune réaction thermonucléaire ne sévit en son coeur : c'est une étoile morte, que seule sa chaleur maintient visible. Lorsqu'elle s'est refroidie, elle devient une masse compacte de matière très difficile à détecter. Elle est alors maintenue en équilibre par la pression de dégénérescence, parfois éternellement.

Parfois le noyau refroidit jusqu'à s'éteindre et mourir. On parle alors de naine noire

Qu'est-ce qu'une étoile à neutrons, appelées pulsars ?

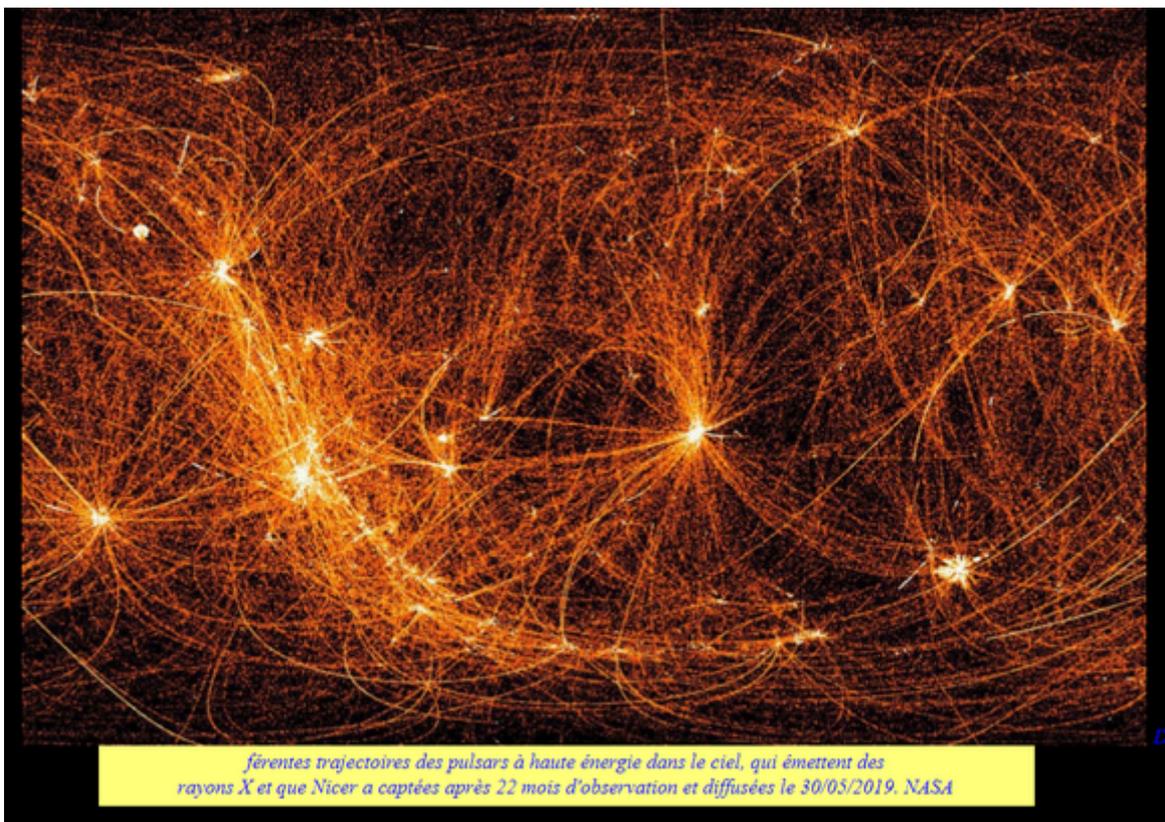
Les étoiles les plus massives explosent : leur noyau se contracte brutalement, le reste de l'étoile est expulsé dans l'espace. Il s'agit d'une explosion appelée supernova, très brillante. Une fois l'explosion terminée, le noyau continue à se concentrer et devient une étoile à neutrons, appelé aussi pulsar. Les noyaux les plus massifs deviennent sans doute tellement denses que la gravitation absorbe tout, y compris la lumière : des trous noirs.

Pour des étoiles dont la masse est supérieure à ~8 masses solaires, on assiste à la formation, durant la Séquence Principale, d'éléments plus lourds par fusion nucléaire. Ces étoiles empruntent un chemin évolutif légèrement différent des

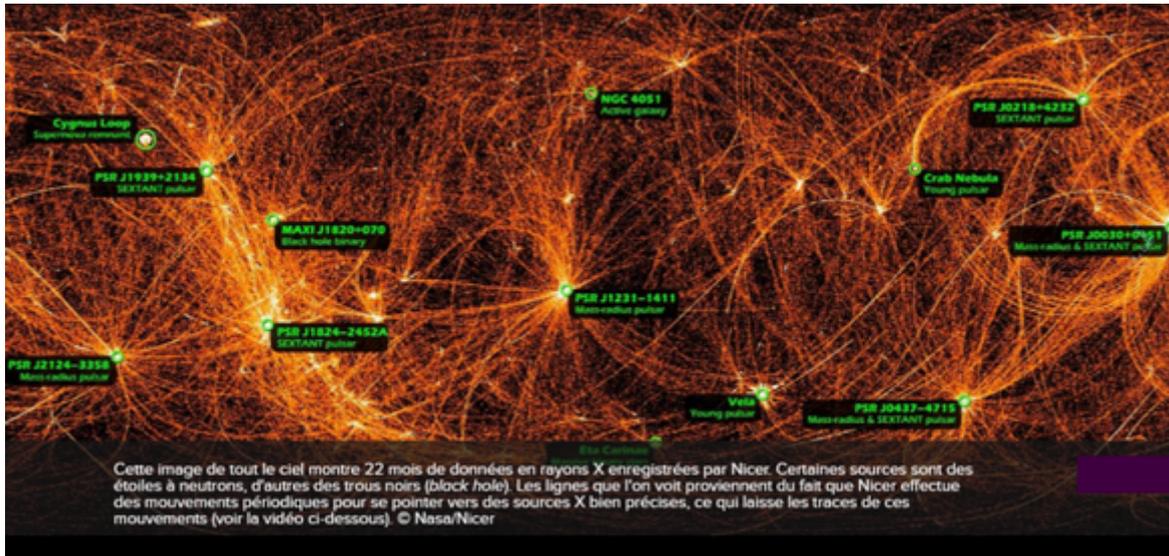
étoiles plus légères, celui des supergéantes rouges.

Lorsque la pression de dégénérescence, force qui maintenait les naines blanches en équilibre, est insuffisante pour contenir l'effondrement gravitationnel de l'étoile, les atomes eux-mêmes, déjà poussés à leur limite, n'en peuvent plus : ils cèdent. Il se produit alors un phénomène tout à fait extraordinaire : les électrons, ne pouvant résister à une telle pression, pénètrent à l'intérieur des atomes, et s'annulent en rencontrant les protons, créant ainsi un paquet de neutrons.

Tous ces atomes, après un tel procédé de neutronisation, se sont transformés en une mer de neutrons. Bien vite, la gravité reprend le dessus et comprime ceux-ci jusqu'à leur limite : il se passe alors un phénomène de dégénérescence, similaire à celui des électrons. À leur tour, les neutrons exercent une pression, et peuvent être en mesure de contraindre la force de gravité, tant que la masse de l'étoile est inférieure à une certaine masse limite, évaluée à $3,2 M_{\odot}$. Plusieurs phénomènes intéressants se produisent alors.



férentes trajectoires des pulsars à haute énergie dans le ciel, qui émettent des rayons X et que Nicer a captées après 22 mois d'observation et diffusées le 30/05/2019. NASA



Ci-dessous un petit film de 3"56' expliquant la mort des étoiles massives.

Et voilà ! A mercredi prochain !

Bye bye !

Professeur Têtenlair