

# COURS

## Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique : X- Les étoiles meurent aussi

Georges Patrel, Observatoire de Lyon

**Résumé:** *Encore un cours court ! Nous avons vu dans le dernier cours que les étoiles évoluaient. Nous allons voir dans ce cours-ci que les étoiles meurent aussi en donnant naissance à des objets fascinants : les pulsars, les supernovae, les trous noirs.*

### Introduction

Dans le cours précédent, nous avons vu que les étoiles évoluent en transformant leur matière originelle, afin de produire de l'énergie. Nous avons compris comment les astronomes suivent cette évolution à l'aide du diagramme de Hertzsprung et Russel (dit diagramme HR). L'hydrogène se transforme en hélium, l'hélium peut se transformer en carbone, le carbone en oxygène, etc. Mais jusqu'où va se poursuivre cette transformation ? Ce processus permet-il de produire de l'énergie indéfiniment ? Comment va-t-il s'arrêter et comment les étoiles cesseront-elles de briller ? Voilà bien des questions auxquelles nous ne pourrions pas répondre sans le secours de la physique.



Pendant une durée de vie humaine, nous ne pouvons pas percevoir l'évolution complète pour une même étoile, de sa naissance à sa mort. Cependant, en observant des étoiles diverses, à différents stades de leur évolution il est possible de reconstituer le cheminement complet d'une étoile, de sa naissance à sa mort.



C'est un peu comme si un extraterrestre venait observer les humains que nous sommes pendant une heure. Il verrait des bébés naître, il verrait des enfants, des adolescents, des hommes d'âge mûr, des vieillards. Il pourrait, en s'aidant de sa logique et de sa connaissance de la matière vivante, reconstituer la vie typique d'un individu. Il pourrait commettre des erreurs en imaginant une phase "chien". Mais il pourrait comprendre les grandes lignes de notre évolution individuelle.

## La mort d'une étoile

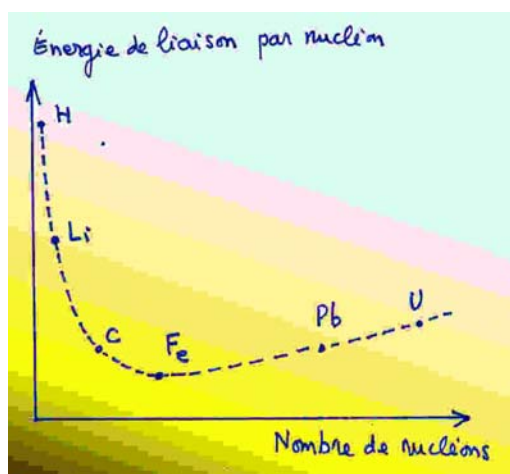
Reste maintenant à aborder la partie la plus dramatique : la mort de l'étoile. Il y a plusieurs scénarios possibles, selon la masse de l'étoile.

Les plus petites étoiles s'éteignent lentement après avoir, dans un ultime sursaut de contraction centrale, soufflé les régions externes pour former les nébuleuses planétaires. Le centre continuera son effondrement jusqu'au stade de refroidissement ultime, sans pouvoir allumer de réactions nucléaires d'un ordre supérieur, faute de masse suffisante pour fournir la pression nécessaire. Ces objets froids iront mourir dans le cimetière des **naines blanches**, froides et peu lumineuses. C'est le retour à la case départ, dans le bas droit du diagramme HR.

Les étoiles les plus massives pourront allumer la fusion du carbone central en silicium (avec formation, au passage de néon et d'encore plus d'oxygène). Les cycles deviennent très courts. Le stade ultime de la fusion est celui qui forme du fer. En effet, au-delà, le processus ne fournit plus d'énergie, mais en consomme. On ne peut pas former des éléments plus lourds que le fer par le processus de fusion simple.

## La limite du fer

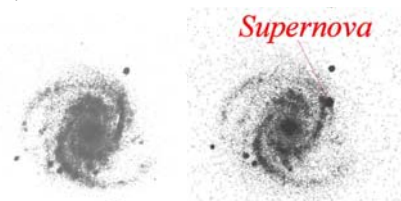
Regardez, c'est le graphique ci-dessous qui nous l'explique. Si on trace l'énergie qui lie une particule (proton ou neutron - ce qu'on appelle les nucléons) au noyau atomique en fonction du nombre total de particules de ce noyau, on constate qu'il y a un minimum situé au voisinage du fer (Fe).



On obtient donc de l'énergie soit fusionnant des noyaux légers (ex.: Hydrogène) soit en cassant des noyaux lourds (ex.: Uranium). La seconde solution est plus facile (c'est la fission), mais le gain en énergie est moindre. Ça se voit sur la courbe. C'est ce qu'on réalise avec les bombes dites "atomiques" ou plus couramment avec les centrales nucléaires. L'autre solution (la fusion) est beaucoup plus difficile mais beaucoup plus énergétique. Mais comment faire pour faire fusionner des noyaux qui se repoussent ? La solution est de leur communiquer des vitesses énormes en augmentant la température. Or pour l'instant on ne sait le faire qu'à partir du premier processus (fission) et sans être capable de contrôler la réaction. C'est ce qui a donné les bombes thermonucléaires, amorcées par des bombes "atomiques". Les chercheurs essaient bien de maîtriser ce second mécanisme mais ça ne marche pas encore. Le jour où ce sera possible, l'énergie, pour les hommes et à leur échelle, sera quasiment illimitée. C'est ce que fait le Soleil. Mais lui a eu l'avantage de sa masse. L'énergie de sa contraction initiale a été suffisante pour amorcer le processus de fusion.

Dans la phase de fusion extrême, l'énergie produite et la vitesse de production sont telles que le phénomène est "explosif". Une telle explosion constitue une **Supernova**. L'étoile devient extrêmement lumineuse pendant quelques jours. La matière constitutive est éparpillée dans l'espace. Seul un cœur très dense subsiste.

Lors d'une telle explosion, il y a une grande surabondance d'énergie libérée et une partie peut servir à former des éléments plus lourds que le fer : par exemple, du plomb, de l'or, de l'uranium.



Avant, après...

Il est amusant de penser que, si vous possédez de l'or, ou même du plomb, cette matière s'est presque exclusivement formée lors

d'une explosion de supernova. Avouez que vous regardez votre alliance (ou votre batterie) avec plus de respect.

## Pulsars et troublants trous noirs

Après l'explosion, le cœur se concentre jusqu'à atteindre une masse volumique inimaginable, jusqu'à un milliard de tonnes par centimètre cube. Pendant cette contraction la vitesse de rotation augmente, parfois jusqu'à un tour en une milliseconde. Cette augmentation de la vitesse de rotation lors d'une contraction est une loi de la physique, la loi de conservation du moment angulaire. Les patineurs l'utilisent lorsqu'ils serrent les bras le long du corps pour tourner plus rapidement. Ces astres en rotation rapide sont des **pulsars**. À cause du champ magnétique très intense qui règne à leur surface, les électrons relativistes émettent de la lumière ; c'est ce qu'on appelle l'émission synchrotron. Cette émission est orientée par les lignes du champ magnétique et, du fait de la rotation, nous recevons des impulsions radio, à chaque tour, avec une très grande régularité, comme celles provenant d'un phare maritime. Les premières détections firent croire aux astronomes qu'il pouvait s'agir de signaux d'êtres extraterrestres.

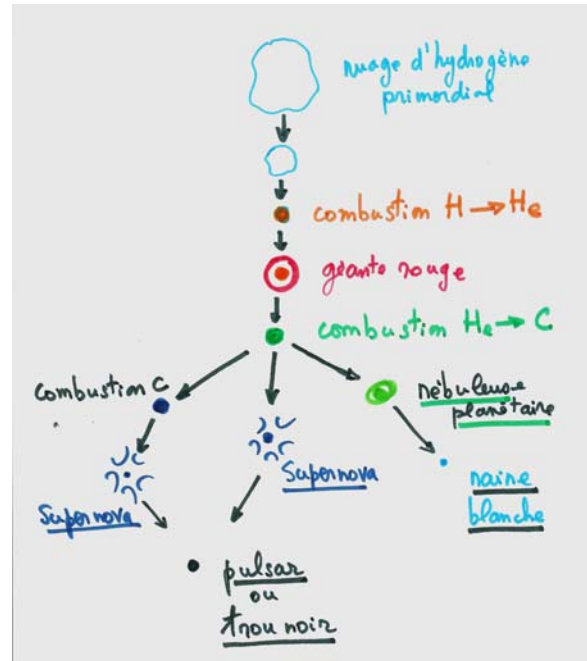
Mais il y a plus mystérieux encore. Les étoiles encore plus massives pourront poursuivre l'effondrement central et nous ne connaissons pas de mécanisme susceptible d'arrêter un tel effondrement. L'objet ainsi formé peut retenir par sa gravitation tous les corps. La vitesse de libération est supérieure à la vitesse de la lumière. Même la lumière ne peut s'échapper. Nous avons un **trou noir** ! Notez que ce n'est pas seulement la densité qui fait d'un corps un trou noir. C'est le rapport masse sur rayon. La conséquence peut être importante pour notre univers.

On peut se demander ce que devient la matière qui a été éparpillée dans l'espace après l'explosion d'une supernova. C'est très simple. La nature va la recycler. De nouvelles étoiles vont se condenser à partir de cette matière.

Nous résumons dans un diagramme général les différents types d'évolution stellaire. On s'aperçoit que la description de l'évolution

stellaire fait appel aux lois très générales de la physique (atomique, nucléaire, quantique). Seule la phase trou noir est encore énigmatique.

On comprend que les astrophysiciens aient été tentés très tôt par des simulations numériques. En partant d'un simple nuage d'hydrogène, on lui applique les lois de la physique et on regarde comment il évolue. C'est ainsi que l'on a pu comprendre l'évolution des étoiles, de leur naissance jusqu'à leur mort.



*Les étoiles les moins massives finissent leur vie en naines blanches alors que les étoiles les plus massives finissent en pulsars, voire même en trous noirs, après avoir explosées en Supernovae. Quel chemin parcouru depuis leur naissance à partir de la contraction de la matière originelle !*

## Finissons en avec le Soleil

Notre Soleil est une petite étoile, une étoile dite "naine". Il ne connaîtra pas la fin catastrophique des supernovae mais il va connaître la phase d'expansion de toute géante rouge et il englobera toutes les planètes qui l'entourent. Nous mourrons donc grillés ! Il ne nous reste que quelques milliards d'années pour trouver une solution. Le plus simple sera, sans doute, d'aller voir ailleurs...

# CURIOSITÉ

## La citation mystérieuse

Pierre Lerich

**Résumé :** *Einstein a été, toute sa vie, harcelé par les journalistes et les photographes. Son image était partout. Encore aujourd'hui, son personnage légendaire est exploité sans scrupule pour vendre un jeu éducatif, une pilule pour améliorer sa mémoire, et même une huile de table supposée rendre intelligent. Mais le comble, le sommet de l'absurdité, c'est de voir ce pauvre Einstein utilisé pour vendre des horoscopes.*

En exergue de son livre *L'astrologie, science du XXI<sup>e</sup> siècle*, Élisabeth Teissier (de son vrai nom Germaine Hanselman) a placé cette citation d'Einstein :

*« L'Astrologie est une science en soi, illuminatrice. J'ai beaucoup appris grâce à elle et je lui dois beaucoup. Les connaissances géophysiques mettent en relief le pouvoir des étoiles et des planètes sur le destin terrestre.*

*A son tour, en un certain sens, l'Astrologie le renforce. C'est pourquoi c'est une espèce d'élixir de vie pour l'humanité ».*

Albert Einstein

Cette citation, sans aucune référence, est douteuse à bien des égards.

1. On ne reconnaît pas du tout le style habituel d'Einstein. Il y a trop de « je ». Einstein était très réticent à parler de lui-même. Il pensait comme Pascal que « le Moi est haïssable ». Il y a trop de flou : les « connaissances géophysiques », c'est quoi exactement ? « En un certain sens », « une espèce de, » ces expressions vaporeuses ne sont pas habituelles chez lui. Que veut dire « le destin terrestre » ? « Illuminatrice »,
2. On ne reconnaît pas non plus sa personnalité. Einstein était croyant. Selon ses amis, son Dieu était celui de Spinoza, sensible dans l'harmonie de l'univers, dans la beauté de la nature, mais sans le moindre rapport avec les destinées individuelles des humains. A l'inverse, l'horoscope ne s'intéresse qu'au particulier, à l'anecdotique. Il suppose un égocentrisme fondamental, bien étranger au caractère d'Einstein.
3. On ne reconnaît pas non plus l'inspiration de son œuvre scientifique. Le monde des apparences (telle planète dans telle constellation comme on peut la voir depuis la Terre par un effet de perspective) n'a aucun sens dans l'univers réel. Einstein a cherché des lois invariantes, indépendantes de l'observateur, ce qui est le contraire même de l'astrologie. On peut dire que la relativité exclut l'astrologie.
4. Au moins une fois, Einstein s'est exprimé directement au sujet de l'astrologie. C'était à propos de la correspondance de Kepler. Einstein rendait hommage à son génie, mais regrettait qu'il n'ait jamais réussi à se débarrasser complètement d'une certaine

curiosité à l'égard de l'astrologie (tout en rejetant comme superstitions la plupart de ses dogmes traditionnels). Einstein écrit exactement ceci : « Que le lecteur fasse attention aux remarques concernant l'astrologie. Elles montrent que l'ennemi intérieur a été rendu inoffensif, bien qu'il n'ait pas été tout à fait mort ». Peut-on imaginer un instant Einstein parlant de « l'ennemi intérieur » de Kepler et écrivant par ailleurs (on ne sait pas ou ni quand) : « j'ai beaucoup appris grâce à elle [L'astrologie] » ? La citation à propos de Kepler se trouve dans *Conceptions scientifiques* d'Einstein, chez Flammarion dans la collection « Champs », page 166.

Jusqu'à preuve du contraire, la citation d'Einstein, dans le livre d'E. Teissier, est un faux grossier. Elle apparaît trois fois dans le cours de l'ouvrage et le nom d'Einstein y est cité 12 fois parmi les adeptes fervents de l'astrologie, entre Copernic, Galilée, Newton (laissons de côté les littéraires) et toutes ces références sont aussi truquées que celle d'Einstein. On peut défendre l'astrologie plus ou moins astucieusement, mais a-t-on le droit de fabriquer de toutes pièces des témoignages ?

Dans sa thèse de sociologie présentée en 2001 à la Sorbonne (toujours à propos de l'astrologie), E. Teissier a de nouveau placé en exergue la même citation d'Einstein. Aucun membre du jury, pas plus que le Président, n'a posé de question sur l'origine de la citation. Ces messieurs ne sont pas curieux, ou peut-être sont-ils si peu informés sur Einstein que cette citation leur a paru plausible ?

Si des universitaires reconnus ont pu avaler, sans broncher, cette marchandise douteuse, comment voudrait-on que le grand public fasse preuve d'esprit critique ? Le but de cette citation était évident : donner à l'astrologie la caution d'un savant connu du monde entier, de façon que chacun puisse se dire : si Einstein y croyait, c'est que l'astrologie est vraiment une science sérieuse.

Les astres indiquaient, avec certitude, qu'une chaire d'astrologie allait être créée à la Sorbonne, et qu'elle serait immédiatement

attribuée à Mme Teissier. Ou bien les astres se sont trompés, ou bien Mme Teissier a mal compris leur message. La chose ne s'est pas faite malgré de solides appuis politico-médiatiques. N'en parlons plus.

Tout cela n'est pas bien grave : les livres d'E. Teissier comportant la fameuse citation d'Einstein ont déjà disparu des librairies et ne se trouvent plus que par hasard chez le bouquiniste ou le soldeur. Ils ne méritent pas de passer à la postérité : c'est un bric-à-brac indigeste qui va de Nostradamus au Karma, en passant par les vies antérieures et le « New Age ». Pas de quoi en faire un drame, sinon pour défendre la mémoire de ce pauvre Einstein si souvent malmenée, et plus encore depuis qu'il n'est plus là pour protester contre les exploitations abusives de son nom et de sa célébrité. ■

#### Note bienveillante

Il m'est arrivé de donner une citation que j'attribuais, de bonne foi, à Pierre alors que c'était Paul qui l'avait dite (Pierre Curie et Paul Langevin). E. Teissier a peut-être été victime de sa mémoire, elle aussi.

Je connais aussi une phrase souvent citée : "*Les naïfs ne savaient pas que la chose était impossible à faire, alors ils l'ont faite*". Je l'ai vue attribuée à au moins deux auteurs : Mark Twain et Marcel Pagnol.

Enfin, dans un film de Gilles Grangier : "*Sous le signe du Taureau*" (film que j'avais bien aimé), Jean Gabin, dans le rôle d'un scientifique ruiné par ses recherches, se cache pour dicter ses mémoires. Il cite une phrase : "*La science ne connaît pas d'échec, elle ne connaît que des abandons*". À sa secrétaire qui lui demande l'auteur de la citation, il répond : "Attribuez-la à Oppenheimer". Mais il faut se rappeler que c'était ... "Sous le signe du Taureau"...

GP

