

# VOYAGE DANS L'ESPACE

Épisode

56

## LE MONDE MÉCONNU DES ÉTOILES



Entrevue avec  
l'astrophysicien Laurent Drissen

## Le balado et les fascicules

Depuis janvier 2018, Claude Lafleur et Mathieu Rancourt produisent un balado consacré à l'exploration de l'espace. Intitulé *Voyage dans l'espace*, il est diffusé sur la plate-forme soundcloud.com. Chaque épisode vous fait parcourir une dimension particulière, qu'il s'agisse de l'exploration d'une planète, de la recherche de vie dans l'Univers ou de l'aventure des astronautes et de ceux et celles qui rêvent d'espace.

Pour chaque balado, ils préparent un exposé détaillé, sous forme de questions/réponses. Ils publient ces exposés sous forme de fascicules pdf, comme celui-ci. Il s'agit donc d'une conversation entre l'animateur de *Voyage dans l'espace*, Richard, et le passionné d'espace, Claude.

Notez que le balado diffusé s'inspire librement des questions/réponses préparées à cet effet. Le texte qui suit n'est pas un verbatim de l'émission, mais plutôt une autre version; le balado et ce fascicule se complètent l'un et l'autre.

Tous les fascicules sont offerts aux abonnés du balado *Voyage dans l'espace*, abonnement au coût de 5\$/mois, via la plate-forme patreon.com.

**Mathieu Rancourt** est géographe et professionnel de recherche. **Claude Lafleur** est journaliste scientifique qui suit au quotidien depuis cinquante ans les péripéties de l'exploration spatiale.

L'équipe des fascicules:

Rédaction: Claude Lafleur

Couverture: Mathieu Rancourt

Illustrations: NASA,

Courriel: [claude-lafleur1@videotron.ca](mailto:claude-lafleur1@videotron.ca)

© Copyright, Claude Lafleur, 2021

Balado: <https://soundcloud.com/voyage-danslespace/>

ISBN 978-2-925106-15-9 (pdf)

Abonnement:

<https://www.patreon.com/voyagedanslespace>

ISBN 978-2-925106-16-6 (kindle)

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec, 2021

Facebook: <https://www.facebook.com/voyagedanslespace/>

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Canada, 2021



Les étoiles, il en existe des milliards dans notre galaxie... mais on n'y prête guère attention...

## Le monde méconnu des étoiles

[Écoutez](#) le balado *Le monde méconnu des étoiles* diffusé le 17 janvier 2021.

**S'il est un aspect de l'Univers souvent négligé et, surtout, qui n'est pas apprécié à sa juste valeur, c'est bien celui des étoiles. Nous sommes en effet fascinés par l'exploration des planètes – autant celles du Système solaire que les exoplanètes qu'on découvre autour de d'autres étoiles – tandis que les télescopes nous émerveillent par les photos qu'ils prennent des galaxies et des nuages interstellaires. Il y a cependant une famille d'objets célestes négligée et qui est pourtant tout aussi fascinante: les étoiles.**

C'est bien entendu à elles qu'on doit toute vie dans l'Univers. Une étoile comme le Soleil fournit non seulement l'énergie à une planète comme la Terre mais c'est au sein d'étoiles disparues de-

Notez que cet exposé n'a pas été révisé par l'astronome Laurent Drissen; toute inexactitude relève donc du rédacteur Claude Lafleur.

puis longtemps qu'ont été fabriqués les éléments chimiques dont nous sommes faits, ainsi que l'air que nous respirons.

En outre, les étoiles sont le site de phénomènes étonnants. Par exemple, comme on le verra, la masse d'une étoile détermine la façon dont elle vivra et mourra éventuellement. Car, et oui, les étoiles connaissent une existence et une fin de

vie – ce qu'on n'observe nulle part ailleurs dans l'Univers. De surcroît, elles présentent un paradoxe: la vie d'une étoile est d'autant plus brève qu'elle est de grande taille – et vice versa.

Nous allons donc explorer le monde fascinant des étoiles en compagnie de l'astrophysicien Laurent Drissen, professeur titulaire au Département de physique, de génie physique et d'optique de l'Université Laval. C'est un spécialiste des étoiles massives.

Au début des années 1990, après un doctorat à l'Université de Montréal, cet astronome effectue un stage postdoctoral au prestigieux *Space Telescope Science Institute* de la NASA. Il accède même à du temps d'observation avec le fameux télescope spatial Hubble.

En 2019, il publie aux éditions Multi-Mondes un magnifique ouvrage intitulé *Des vagues dans l'espace-temps; splendeurs*



L'astrophysicien Laurent Drissen.

*des étoiles massives.* Durant plusieurs années, le professeur Drissen a été chroniqueur à l'émission *Les Années-lumière* de Radio-Canada.

## I – L'importance d'avoir des modèles

Professeur Drissen, parlons d'abord un peu de vous. Qu'est-ce qui a fait que, durant votre enfance, vous vous êtes intéressé aux sciences puis, éventuellement, à l'astronomie?

Les sciences, c'était pas mal partout chez nous à la maison. Mes parents enseignaient les sciences au secondaire, dont la biologie et la chimie. En outre, mon père était un passionné de géologie, on arrêtait souvent sur le bord des autoroutes pour recueillir des roches!

Nous allions souvent passer nos fins de semaine à la campagne, où on bénéficiait d'un ciel loin de la pollution lumineuse. C'était fantastique de repérer la Voie lactée. Je me souviens encore avoir vu des aurores boréales. C'était spectaculaire...

Quant à l'astronomie, mon intérêt est venu assez rapidement. Vous vous souvenez peut-être de la comète Kohoutek?

**Absolument, en 1973! La célèbre comète de Kohoutek!**



La comète Kohoutek photographiée en décembre 1973.

## La mésaventure de la «comète du siècle»

En mars 1973, l'astronome tchèque [Luboř Kohoutek](#) repère une comète. Cette découverte fait sensation puisqu'on annonce qu'elle atteindra un éclat exceptionnel lors de son passage près du Soleil en décembre. On prévoit même une magnitude de -10, soit comparable à la Lune!

Par conséquent, une importante campagne d'observation internationale est mise sur pied, alors qu'on nous parle de la «comète du siècle». Et par chance, un trio d'astronautes devrait se trouver à bord de la station orbitale Skylab dotée de l'un des premiers observatoires astronomiques placés dans l'espace.

Hélas, l'automne venue, la [comète Kohoutek](#) s'avère être infiniment moins spectaculaire que prévu, sa magnitude n'est que de 5 à la fin du mois de novembre: elle est invisible à l'œil nu.

Finalement, elle passe à seulement 21 millions de kilomètres du Soleil le 28 décembre 1973, pour disparaître par la suite à tout jamais. Elle a depuis quitté le Système solaire.

Pour l'astronome Kohoutek, subitement propulsé au rang de vedette médiatique, son nom est à jamais associé à la «fausse annonce du siècle».

Et fait, ça été un flop monumental, sauf qu'on en a beaucoup parlé. En 1973, je venais d'avoir 10 ans. Je me souviens m'être levé tôt le matin pour tenter de l'apercevoir. Mais ça été peine perdue... Je n'ai donc jamais vu la fameuse comète Kohoutek. En fait, rares sont ceux qui l'ont aperçue, puisqu'elle a été beaucoup moins brillante que ce à quoi on s'attendait.

En effet, on l'avait annoncée comme la comète du siècle, un spectacle qui devait être absolument extraordinaire. C'était dans le temps des fêtes. Et Kohoutek, c'était un astronome tchèque qui, malheureusement pour lui, a eu mauvaise presse, bien qu'il n'y soit pour rien.

Exact. Il faut dire que les comètes sont assez imprévisibles. On peut avoir des flops monumentaux, comme la comète Kohoutek, mais aussi avoir de belles surprises, comme on en a eues il y a quelques années...



Voici comment les astronautes à bord de Skylab – les mieux placés au monde pour voir la comète Kohoutek –, l'ont aperçue.

Mais même si la comète Kohoutek a été un flop, ça été pour moi l'un des événements déclencheurs de mon intérêt pour l'astronomie.

**En même temps, vous avez eu votre première leçon d'astronomie, puisque souvent, les soirées d'observation sont gâchées par les nuages. Ce fut une première leçon pour vous!**

Eh oui. J'en ai encore eu une la semaine dernière, car samedi soir, j'avais installé mon télescope pour prendre des

photos de la Lune avec la Station spatiale qui allait passer juste à côté. Le ciel était alors parfaitement dégagé... Mais le temps de m'installer, et hop, les nuages sont arrivés! Ça, c'est l'histoire de ma vie, et de plusieurs astronomes, puisqu'il faut apprendre dans notre métier – que ce soit comme astronome amateur ou comme astronome professionnel – à vivre avec la météo. Ça fait partie de notre vie et, à la longue, on finit par devenir zen quant à la météo. On s'en fait beaucoup moins que par le passé.



Laurent Drissen, devenu sage avec le temps...

**Ainsi donc, votre initiation à l'astronomie s'est faite avec le passage de la comète Kohoutek. Mais, malgré tout, vous avez persévéré?**

Tout à fait. Il y avait un club d'astronomes amateurs à Montréal: la Société d'astronomie de Montréal qui se réunissait au Jardin botanique. Je devais avoir 12, 13 ou 14 ans. J'allais donc assister aux conférences de la SAM. Je me souviens d'un certain Louis-Roland de Tilly qui organisait ces conférences et qui aidait les astronomes amateurs à polir le miroir de

leur télescope. Je trouvais ça fascinant et cela a énormément nourri ma passion pour l'astronomie.

Un autre événement important pour moi a été le jour où mes parents m'ont offert un petit télescope. Il s'agissait en fait d'une lunette astronomique... de très mauvaise qualité (que je possède toujours). Or, grâce à cette lunette, je pouvais observer les cratères de la Lune, voir Jupiter et ses satellites qui gravitent autour d'elle, de même que Saturne et ses anneaux...

### **Lunette astronomique ou télescope?**

Une lunette astronomique est un long tube muni de deux lentilles – deux loupes – une en entrée (l'objectif) et une seconde en sortie (l'oculaire) qui concentre les rayons de lumière en un point précis, là où l'observateur place son œil. Il s'agit en quelque sorte d'un microscope dont l'objet est toujours à l'infini.

Un télescope est un tube au fond duquel est placé un miroir concave qui concentre la lumière vers un point où se place l'observateur ou une caméra. C'est en quelque sorte un concentrateur de lumière, un entonnoir à lumière. Il existe différentes façons d'acheminer la lumière vers le foyer d'un télescope, il y a donc différents types de télescope.

Mais ce qui m'intéressait le plus, c'était le Soleil. Je possédais un filtre spécial qui me permettait de l'observer. Je me souviens avoir fait des dessins des taches solaires afin de mesurer la vitesse à laquelle elles se déplacent à la surface du Soleil.

Mais il ne faut jamais, jamais regarder le Soleil à l'aide d'un télescope! N'est-ce pas extrêmement dangereux?

Non, puisque j'utilisais un filtre. Mais c'est vrai qu'il ne faut *jamais* regarder le Soleil avec un télescope, ni même avec une paire de jumelles ou à l'œil nu, à moins de posséder un appareil conçu à cette fin, c'est-à-dire un appareil muni d'un puissant filtre.

**J'imagine que votre lunette astronomique, même si elle était de piètre qualité, était fort probablement supérieure à celle que devait posséder Galilée?**

À peine! Mais oui, ma lunette était sûrement de bien meilleure qualité optique que celle dont disposait Galilée. Mais il s'agissait néanmoins d'une lunette dont les lentilles devaient avoir été fabriquées de manière très sommaire et donc la qualité optique n'était pas très bonne. Le pouvoir collecteur n'était pas non plus très bon.

Mais ça été extraordinaire tout ce que j'ai pu voir en observant le Soleil, la Lune, les satellites de Jupiter... Je pouvais ainsi voir ces satellites se déplacer autour de la planète au cours d'une même nuit et d'une nuit à l'autre. C'était absolument fascinant! Pour quelqu'un qui commence en astronomie, voilà des observations fort intéressantes à faire.



Jupiter et ses quatre principaux satellites que l'on peut suivre de soir en soir graviter autour de la planète.

Si je comprends bien, l'idée de devenir astronome était déjà bien implantée en vous. C'était donc évident pour vous que vous deviendriez un jour astronome professionnel, n'est-ce pas?

Pour moi, les sciences ont toujours été d'un intérêt majeur et je pense que c'est à partir de la fin du secondaire que j'ai décidé de devenir astronome. Mais, surtout, vous vous souviendrez peut-être qu'en 1978, il y a eu l'ouverture de l'Observatoire du mont Mégantic, pas très loin de Sherbrooke. Il y a alors eu des reportages dans les médias; pour moi qui s'intéressait déjà à l'astronomie, apprendre que je pourrais en faire mon métier et l'exercer à partir d'un observatoire près de chez moi, ça été majeur comme événement.

Je me souviens d'être allé visiter l'observatoire avec mes parents. Donc, la naissance de l'observatoire du mont Mégantic a été quelque chose de très important pour moi.

Je me souviens aussi qu'au cégep, j'ai suivi un cours d'astronomie destiné au grand public et donné par René Racine – le premier directeur de l'Observatoire du mont Mégantic et qui deviendra par la suite le premier directeur du télescope Canada-France-Hawaii.

René était un excellent conférencier et ses cours étaient passionnants. Et de temps à autre après les cours, il y avait des séances d'observation. À l'époque, c'était Robert Lamontagne (alors étudiant gradué) qui, avec Pierre Lacombe (futur directeur du Planétarium de Montréal) nous apprenaient à observer le ciel avec des télescopes plus puissants que le mien. Ça aussi, ça été important pour moi.

Après les cours de René Racine, je me suis dit qu'il fallait que je devienne astrophysicien... mais le gros problème, c'était

qu'il me fallait faire un baccalauréat en physique, ce qui était une grosse étape à franchir!

Dans le fond, vous, ce qui vous intéressait, c'était l'astronomie et donc être obligé d'étudier la physique durant des années – étudier quantité de notions dont vous ignoriez si elles allaient vous

être utiles plus tard – c'était plus un empêchement. Vous, vous vouliez *faire de l'astronomie!*

En fait, ce n'était pas vraiment un empêchement, mais la physique, ce n'est pas facile... Je blague un peu là, mais disons que ce fut trois années d'études plutôt difficiles pour moi.

## Les jeunes et la science

Aujourd'hui, vous enseignez à des jeunes qui font leurs études en physique à l'Université Laval. Vous formez donc la prochaine génération de physiciens et possiblement d'astrophysiciens.

Est-ce que les jeunes d'aujourd'hui ont une façon un peu différente d'approcher la science étant donné qu'ils vivent dans un monde hyper-informatisé, dans un monde où on a toute l'information au bout de nos doigts? À l'époque, il fallait aller consulter de gros bouquins dans des bibliothèques universitaires, tandis que de nos jours, les jeunes ont accès à l'information des grands observatoires astronomiques. Est-ce que cela change un peu la vision qu'ils ont de faire de la science?

Je dirais que, fondamentalement, non. Les jeunes d'aujourd'hui sont toujours aussi rêveurs et utopiques que nous l'étions dans le temps. Mais c'est sûr que leurs sources d'information sont extrêmement différentes des nôtres. À l'époque, il fallait consulter des livres, tandis que de nos jours, c'est très rare que je vois un jeune avec des livres ou des revues. Leurs sources, c'est effectivement Internet et je trouve que cela amène des questions extrêmement intéressantes, souvent sur des sujets dont ils ont pris connaissance sur Internet durant le week-end, des su-

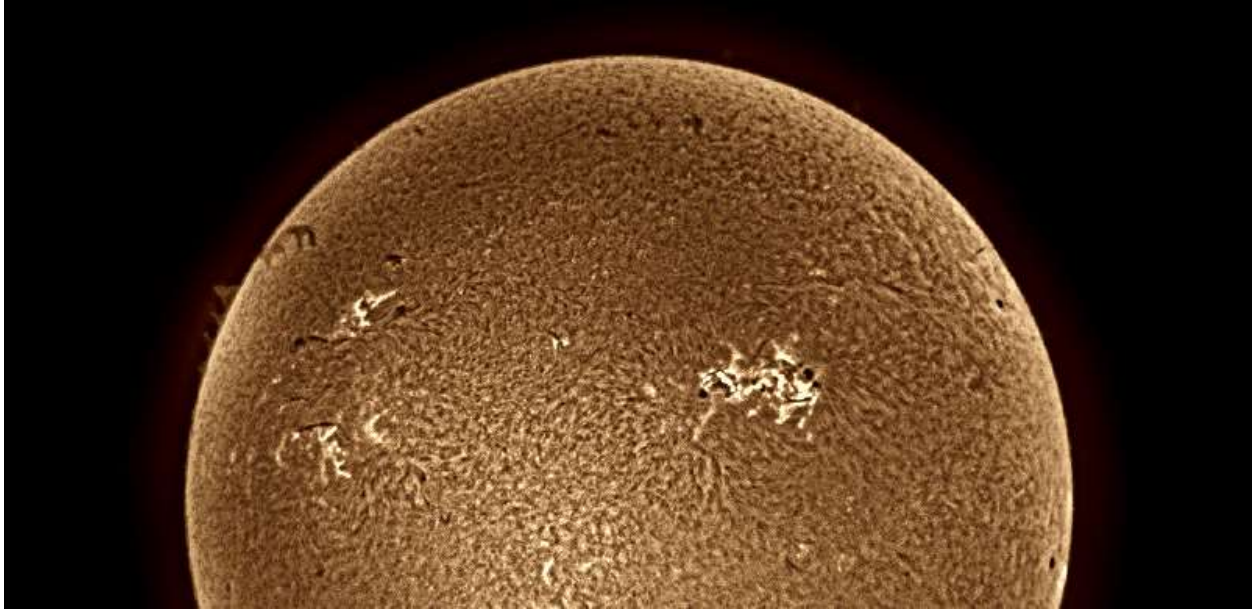
jets que nous, nous n'abordions pas.

Mais si les sources d'information sont très différentes, leur approche de la science, en général, me semble assez semblable à celle que nous avons dans le temps.

Aujourd'hui, les jeunes ont directement accès aux données des télescopes comme Hubble – ce que nous n'avions pas lorsque nous étions étudiants – ce qui doit être formidable. S'ils ne peuvent pas encore utiliser le télescope spatial en tant qu'étudiant, ils ont néanmoins accès aux données, ce qui doit être formidable?

En effet. D'ailleurs, nous demandons souvent aux étudiants du niveau de la maîtrise et du doctorat d'aller chercher des données dans les archives des plus grands observatoires, maintenant disponibles à la communauté astronomique via Internet. C'est vraiment un atout.

C'en est même devenu un problème puisqu'il y a tant de données obtenues de partout qu'une proportion relativement importante d'entre elles n'est jamais utilisée. Il y a en effet tant de données aujourd'hui que plusieurs demeurent dans les archives. On encourage donc nos étudiants à utiliser ces archives, en plus d'aller eux-mêmes récolter leurs propres données au télescope.



Cette photo fait voir la surface granuleuse du Soleil avec quelques protubérances.

## II – Qu’est-ce qu’une étoile?

On voit donc d’où vient votre intérêt pour les étoiles. Mais commençons d’abord par définir ce qu’est une étoile.

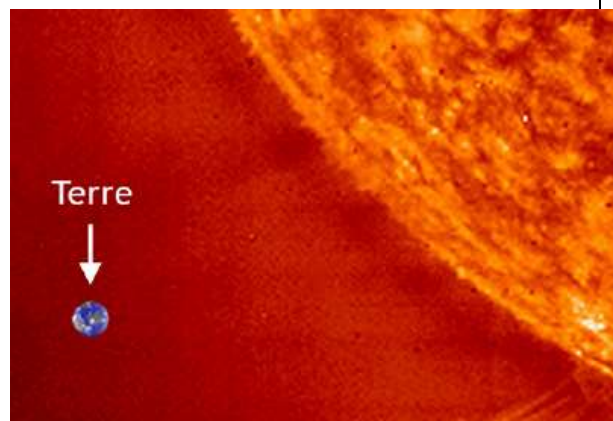
Une étoile, c’est une sphère constituée principalement de gaz. Ce qui distingue une étoile des autres objets célestes, c’est le fait qu’elle soit lumineuse, qu’elle brille, à cause des réactions nucléaires qui se produisent à l’intérieur d’elle.

La notion de réactions nucléaires est fondamentale puisque c’est ce qui dicte l’évolution chimique de l’Univers. Les réactions nucléaires, c’est l’un des phénomènes que je trouve le plus extraordinaire, le plus mystérieux de toute l’astrophysique.

### Équilibre entre gravité et réactions nucléaires

Les étoiles sont des astres gigantesques et massifs. C’est ainsi que le Soleil mesure 1 500 000 kilomètres de

diamètre, soit plus de cent fois le diamètre de la Terre. Il est en outre 330 000 fois plus massif que notre planète. À côté de lui, la Terre n’est guère plus qu’un grain de sable.



La Terre, minuscule, comparée au Soleil.

En général, une étoile est une immense sphère de gaz, composée essentiellement d’hydrogène et d’hélium.

Cette boule de gaz tend à s'effondrer sur elle-même, puisque la force gravitationnelle provenant de la surface de l'étoile exerce une énorme pression vers le centre. Normalement, cette boule de gaz tendrait à devenir de plus en plus petite et de plus en plus dense, à se compresser sur elle-même.

Mais, en même temps, une telle pression fait augmenter les températures à l'intérieur de l'étoile, températures qui atteignent dans le cas du Soleil 15 millions de degrés.

Or, de telles conditions de pression et de température engendrent des réactions nucléaires, c'est-à-dire que les noyaux d'hydrogène au centre de l'étoile se fusionnent pour former des noyaux d'hélium. Ce processus génère en même temps d'énormes quantités d'énergie, de radiations ainsi que des photons de lumière (d'où la brillance des étoiles).

Cette énergie nucléaire crée une pression vers l'extérieur, une pression qui contrebalance celle imposée par la force de gravité. C'est pourquoi le Soleil ne s'effondre pas sur lui-même. Il s'agit en fait d'un astre de gaz en équilibre, c'est-à-dire que la pression vers l'extérieur produite par les réactions nucléaires contrebalance exactement celle qu'impose la force gravitationnelle vers l'intérieur.

Et ce n'est pas un hasard s'il y a un équilibre parfait de pressions puisque, dans le cas d'une étoile plus massive, une plus grande pression gravitationnelle engendre davantage de réactions nucléaires. De même, dans le cas d'une étoile moins massive, les températures et pressions au cœur de l'étoile sont moindres et génèrent par conséquent une plus faible pression vers l'extérieur qui, elle, contrebalance une plus faible

force de gravité. Il y a donc toujours équilibre.

Toute étoile demeure ainsi en équilibre aussi longtemps qu'elle convertit son hydrogène en hélium. Mais arrive un jour où il n'y a plus suffisamment de carburant pour contrebalancer la force de gravité. L'étoile s'effondre alors sur elle-même et explose.

Comme nous l'expliquera le Pr Drissen, c'est alors que sont produits quantité d'éléments chimiques, dont l'oxygène, le carbone, le fer... dont nous sommes faits.

Au terme de ces explosions restent des cadavres d'étoiles qu'on appelle, selon le cas, des naines blanches, des étoiles à neutrons ou encore des trous noirs. Il s'agit de petits astres, de la taille de planète (ou moins) mais dont la densité est des milliards de fois celle de la Terre.

**Une étoile, c'est un astre qui dégage d'énormes quantités d'énergie par rapport aux planètes. Les planètes ne dégagent pas d'énergie mais elles reflètent l'énergie en provenance des étoiles. C'est la différence entre planète et étoile?**

Effectivement, c'est la différence fondamentale. Les planètes ne produisent pas de réactions nucléaires parce que la température qui est atteinte en leur centre ne suffit pas à générer des réactions nucléaires.

Mais il peut y avoir des planètes assez massives pour que leur contraction gravitationnelle génère une certaine quantité d'énergie. Mais il ne s'agit pas, dans ce cas-là, d'énergie nucléaire; ces planètes dégagent une luminosité extrêmement faible. En général, les planètes émettent fort peu d'énergie et leur luminosité – le

fait que nous les voyons – provient de la réflexion de la lumière en provenance de leur étoile.

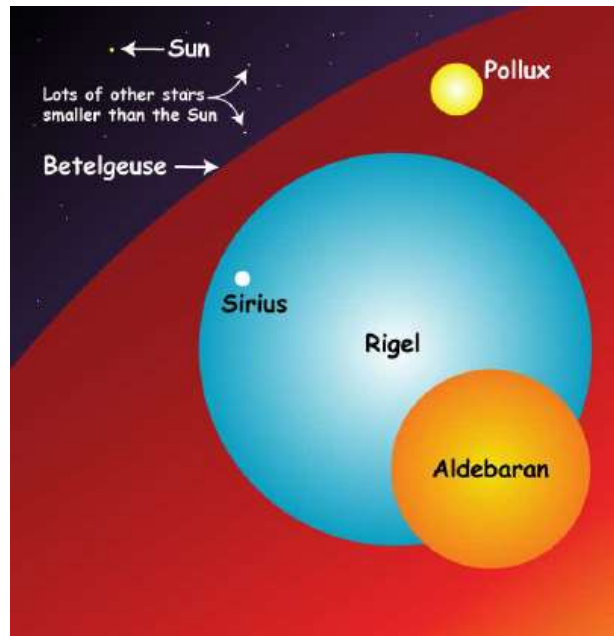


Une planète «brille» du fait de la Lumière qu'elle reçoit de son étoile.

**L'étoile que nous connaissons le mieux, c'est bien entendu le Soleil. Décrivez-nous-le. Il est gigantesque en comparaison avec les planètes. Ce qui est le cas, en général, des étoiles par rapport aux planètes?**

Oui, en général. Dans le cas du Soleil, c'est une étoile assez représentative des autres. Je dirais que, pour simplifier, en termes de masse, les étoiles les moins massives qu'on connaisse et qui génèrent des réactions nucléaires ont à peu près un dixième de la masse du Soleil, tandis que les étoiles les plus massives qu'on connaisse ont à peu près cent fois la masse du Soleil. Donc, vous voyez que le Soleil est tout de même dans la partie inférieure des étoiles en termes de masse.

Par contre, les étoiles les plus nombreuses dans notre galaxie (et probablement partout ailleurs dans l'Univers) sont beaucoup moins massives que le Soleil. Celui-ci n'est donc pas représentatif des étoiles les plus abondantes.



Comparaison de la taille de quelques étoiles: remarquez notre minuscule Soleil, en haut, comparé à d'autres gigantesques étoiles.

**Parce que la majorité des étoiles sont beaucoup plus petites que le Soleil, beaucoup moins massives. Mais on a longtemps considéré que le Soleil était représentatif de l'ensemble des étoiles, ce qui n'est plus le cas à présent?**

En effet. Je dirais que depuis une bonne vingtaine d'années, nos télescopes nous permettent d'observer des étoiles qui sont beaucoup moins brillantes et nous nous rendons compte que les étoiles de plus faibles masses sont beaucoup plus nombreuses que celles comme le Soleil.

Il y aussi des étoiles qui par le passé ont généré des réactions nucléaires mais qui se sont éteintes depuis. On parle alors de *cadavres d'étoile*.

C'est ainsi, par exemple, que le Soleil va éventuellement devenir ce qu'on appelle une *naine blanche*. Il s'agit d'un type d'étoile qui a à peu près la même masse que le Soleil mais qui a un diamètre comparable à celui de la Terre.

Il y a aussi ce qu'on appelle des *étoiles à neutrons*; ce sont les restes d'étoiles encore plus massives que le Soleil et qui ont à présent un diamètre de *quelques kilomètres* seulement.

Mais, en général, on peut considérer que les étoiles sont énormément plus grosses que les planètes.

Chez les étoiles, il y a quelque chose de particulier qu'on appelle la *fonction de masse*. Si on considère les quelques 200 milliards d'étoiles qui forment notre galaxie, la Voie lactée, on retrouve très peu d'étoiles de 100 masses solaires, alors qu'il y en a énormément dont la masse n'est que de un à deux dixième de masse solaire. Donc, les étoiles de faibles masses sont beaucoup plus nombreuses que celles de très fortes masses. Il y a vraiment un déséquilibre entre les étoiles massives et les étoiles de plus faibles masses.

## **Tout est une question de masse!**

**Comme vous le faites bien ressortir, ce qui différencie les étoiles les unes des autres, c'est avant tout leur masse. Tout est une question de masse?**

C'est même une question de masse dès la naissance des étoiles. La masse est la caractéristique fondamentale de toute étoile, puisque c'est elle qui va déterminer la façon dont elle va d'abord se former, puis vivre et finalement mourir. La masse de l'étoile détermine également sa durée de vie. C'est vraiment la caractéristique la plus importante.

En fait, la quantité de matière à partir de laquelle une étoile se forme va déterminer toute sa vie et définir sa mort. Cela va aussi définir la quantité d'éléments chimiques que l'étoile va en fin de compte rejeter dans le milieu interstellaire.

## **III – Naissance et formation des étoiles**

**Parlons justement de la naissance des étoiles. Comment se forment-elles?**

Si vous regardez une galaxie comme la Voie lactée, vous constaterez qu'elle est parsemée de grands nuages de gaz. Ces nuages sont principalement constitués de molécules d'hydrogène ( $H_2$ ), mais on y trouve également d'autres sortes de molécules, dont du monoxyde de carbone (CO), de l'eau ( $H_2O$ ), de l'alcool (-OH). On a en fait repéré plusieurs centaines de molécules au sein de ces nuages.

Ceux-ci s'étendent sur plusieurs années-lumière, voire des centaines d'années-lumière. Ils sont extrêmement peu denses puisqu'on y retrouve un ou deux atomes par centimètre cube – ce qui est

extrêmement peu – tandis que leurs températures sont extrêmement basses, de l'ordre de 10 à 20 ou 30 degrés Kelvin (soit aux environs de  $-260\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Ces nuages dérivent dans la Voie lactée... À un moment donné, il se produit un événement perturbateur, notamment l'explosion d'une étoile à proximité. Or, cette explosion crée une onde de choc, une sorte de vent qui balaie le nuage et qui fait en sorte que celui-ci commence à se contracter sur lui-même. L'onde de choc comprime le nuage.

Ce phénomène produit des zones dans le nuage qui deviennent plus denses que d'autres. Sous l'effet de la gravité, qui

commence à se manifester, les molécules contenues dans ces zones se rassemblent de plus en plus. On assiste à une sorte de phénomène de boule de neige qui peut s'étendre sur plusieurs millions d'années.

Au fur et à mesure que la matière se contracte, la température dans ces régions se met à augmenter. La matière continue toujours à se concentrer jusqu'à ce qu'il se forme ce qu'on appelle des protoétoiles – des bébés étoiles.

Sans cesse, la gravité continue d'exercer son effet rassembleur.

C'est ainsi que selon la taille et la densité du nuage initial, il peut s'y former quelques dizaines d'étoiles, sinon même plusieurs dizaines de milliers d'étoiles. On obtient donc des sœurs stellaires qui se forment à la même époque à partir d'un nuage moléculaire.



La plus spectaculaire pouponnière d'étoiles, les majestueux «piliers de la création», situés dans la nébuleuse de l'Aigle. De puissants vents stellaires, en provenance du haut de cette photo, dégagent des nuages de matière desquels ressortent certaines jeunes étoiles brillantes.

Les protoétoiles continuent sans cesse de se contracter sur elles-mêmes. Elles se comportent comme un gaz parfait, c'est-à-dire que lorsque vous comprimez un gaz, vous augmentez sa température. C'est exactement ce qui se passe au cœur d'une protoétoile; plus elle se contracte, plus sa

température centrale augmente. Et lorsque la température atteint environ 10 millions de degrés, voilà qui déclenche des réactions nucléaires. À partir là, la protoétoile devient étoile.

En résumé: les étoiles proviennent essentiellement de la contraction d'un immense nuage de molécules très peu dense au départ. Mais, à la suite d'une onde de choc, des milliers d'étoiles peuvent naître à peu près en même temps dans ce nuage.

**Et tout cela se produit en quelque dizaines de millions d'années seulement, et non pas en des centaines de millions d'années ou en des milliards d'années?**

En fait, ça dépend de la masse de l'étoile. Les étoiles de plus fortes masses vont se condenser très rapidement – en à peine un million d'années ou moins. Alors qu'une étoile comme le Soleil mettra environ 60 millions d'années à se contracter pour commencer à brûler son hydrogène. On voit encore là que même avant que les étoiles ne se forment, la masse (du nuage) est déterminante pour elles.

**C'est de cette façon qu'est né notre Système solaire et notre Soleil il y environ cinq milliards d'années?**

C'est ce que nous pensons. En réalité, nous avons deux façons de tenter de répondre à cette question.

D'abord, les observations: on regarde des régions où se forment présentement des étoiles. C'est le cas notamment de la grande nébuleuse d'Orion. Il y a là des étoiles qui sont en train naître. Il y en a même quelques-unes, parmi les plus massives, qui ont déjà un à deux millions d'années d'existence. Ces étoiles vont même mourir relativement bientôt, dans quelques millions d'années seulement. On

scrute donc ce genre de nuages dans lesquels des étoiles se forment.



La nébuleuse d'Orion est un vaste nuage de matière qui s'étend sur 24 années-lumière et qui renferme quantité d'étoiles très jeunes. Il s'agit de la nébuleuse la plus facile à voir à l'œil nu.

Et depuis une quinzaine d'années – grâce à l'avènement des ordinateurs superpuissants –, on est capable de simuler la formation d'étoiles. À partir d'un ensemble de paramètres de base – dont la composition chimique et la densité du nuage –, on reproduit l'effet des forces de la physique pour parvenir à simuler la formation de groupes d'étoiles. Vous pouvez retrouver sur Internet des vidéos qui montrent le phénomène et qui sont le résultat de simulations numériques.

C'est donc en comparant le résultat de ces simulations numériques avec ce qu'on observe dans l'Univers qu'on est parvenu à concevoir un scénario global qui explique la formation des étoiles.

**Vous avez dit plus tôt qu'au sein d'un nuage, toutes les étoiles se forment relativement en même temps, est-ce à dire que les étoiles qui sont autour de**

**nous ont sensiblement le même âge que notre Soleil?**

Non, pas vraiment, parce que notre étoile est née il y a 4½ milliards d'années. Or, en 4½ milliards d'années, il se produit énormément de brassage d'étoiles au sein de la Voie lactée.

Il faut savoir que les étoiles de notre galaxie gravitent autour du centre de celle-ci. Ainsi, le Soleil met environ 200 millions d'années à faire un tour complet de la Voie lactée. Or, durant ce temps, les étoiles se déplacent les unes par rapport aux autres, puisqu'elles ne tournent pas toutes à la même vitesse autour du centre de la galaxie. C'est ainsi que les sœurs du Soleil se sont éparpillées, la famille s'est complètement dispersée...

Et c'est la même chose pour les étoiles qui sont autour de nous; elles proviennent de d'autres nuages et ont des âges très différents de celui du Soleil. Revenons à la constellation d'Orion, puisque c'est ma préférée. On y trouve Bételgeuse, une super-géante rouge qui n'a que quelques millions d'années d'existence. Cette étoile est relativement proche de nous mais pourtant elle n'a qu'un millième de l'âge du Soleil.



Bételgeuse, la plus grosse étoile que nous connaissons: à côté d'elle, le Soleil est dix fois plus petit que la Terre l'est à côté du Soleil!

Vous voyez donc que le mouvement qui se produit à l'intérieur de la Voie lactée fait que les populations stellaires se dispersent et se mélangent les unes aux autres. Autour de nous, on a donc des étoiles qui sont encore plus vieilles que le Soleil et d'autres qui sont beaucoup plus jeunes.

## IV – Vie et mort des étoiles

Nous venons de voir que les étoiles sont issues d'un processus de condensation d'un nuage. Expliquons maintenant la vie d'une étoile, notamment celle du Soleil. Que se passe-t-il donc à l'intérieur d'une étoile comme la nôtre?

Présentement, le Soleil est extrêmement stable; il est dans ce qu'on appelle la *séquence principale* de sa vie, qui correspond en général à 90% du temps de vie d'une étoile.

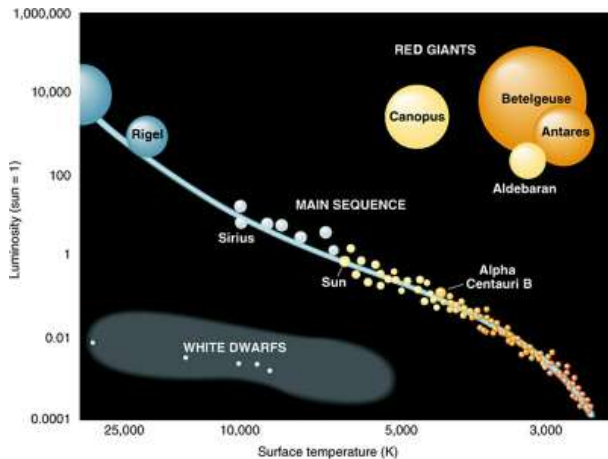


Figure 1 - The Hertzsprung-Russell Diagram. Dim cool stars are at the lower-right, bright hot stars are at the upper-left. The sizes shown for the stars are suggestive, not exact.

Dans le balado précédent, L'étrange monde des étoiles, nous avons expliqué que 90% des étoiles évolue dans la séquence principale de leur vie, tel que l'illustre le graphique Hertzsprung-Russell.

Ce qui se passe alors au cœur d'une étoile, c'est tout simplement la transformation de l'hydrogène en hélium, par une série de réactions nucléaires. C'est ainsi que deux noyaux d'hydrogène (deux protons) se fusionnent pour donner du deutérium. Puis s'ajoute un autre proton, ce qui fait de l'hélium.

Durant 90% de leur vie, les étoiles produisent ainsi de l'hélium à partir d'hydrogène. Ce phénomène survient seulement dans la région centrale de l'étoile. Il n'y a pas de réactions nucléaires à la surface, mais uniquement au cœur de l'étoile, là

où la température et la pression sont suffisantes pour générer des réactions nucléaires. Ce phénomène dure un certain temps.

Dans le cas du Soleil, nous sommes rendus à environ la moitié de la séquence principale de sa vie. Ça fait donc environ 4½ milliards d'années qu'au centre du Soleil l'hydrogène se transforme en hélium, et il y en a pour encore environ la même durée de temps.

Mais dans 4 à 5 milliards d'années, il n'y aura plus assez d'hydrogène au cœur du Soleil pour soutenir le processus nucléaire. Il va alors se produire un phénomène assez particulier qui marque le début de la fin pour l'étoile. La conversion de l'hydrogène en hélium s'arrêtant, il ne se dégagera plus suffisamment d'énergie pour contrebalancer les forces de gravitation qui compressent l'étoile. Celle-ci va alors s'effondrer sur elle-même.

Mais en se contractant, la température au centre de l'étoile se mettra soudainement à augmenter. C'est alors que, dans des conditions de *très hautes* température et pression, l'hélium fusionnera à son tour pour engendrer des éléments chimiques plus lourds, comme le carbone et l'oxygène.

**Il y a un paradoxe assez étonnant: plus une étoile est grosse – plus elle est massive – plus sa vie sera courte et, inversement, moins une étoile est massive, plus longue est sa vie.**

C'est paradoxal puisqu'on s'attendrait à ce qu'une gosse étoile possédant

**beaucoup d'hydrogène à brûler devrait vivre longtemps, tandis qu'une petite étoile possédant beaucoup moins de carburant devrait connaître une courte existence. Mais c'est le contraire qu'on observe! Comment expliquer ce curieux phénomène?**

Vous avez raison. Ainsi, une étoile de 100 masses solaires – qui possèdent donc cent fois plus de carburant qu'une étoile comme le Soleil – va brûler cent fois plus rapidement.

Ce qui se passe en réalité, c'est que l'efficacité des réactions nucléaires dépend très fortement de la température. Il s'agit même d'un effet exponentiel, c'est-à-dire que si on double la température à laquelle les réactions nucléaires ont lieu, on n'obtient non pas deux fois plus d'énergie, mais plutôt de 400 à 500 fois plus d'énergie!

Autrement dit, une étoile de cent masses solaires brûle son carburant avec une efficacité qui correspond à des millions de fois celle du Soleil. Au départ, cette étoile a donc cent fois plus de carburant, mais elle le brûle tellement rapidement que sa vie est nettement plus brève.

Ainsi, si on condense la vie du Soleil sur une année seulement, celui-ci se trouvant actuellement au milieu de sa vie, c'est comme s'il en était rendu à la fin juin ou

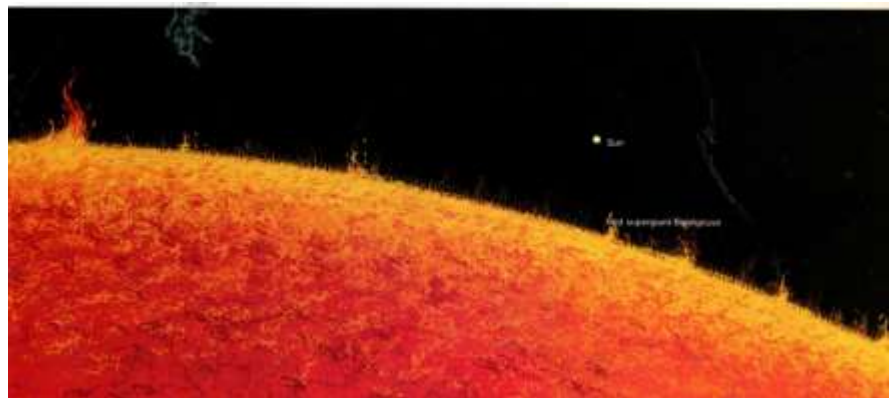
au début juillet de son année de vie. Par contre, une étoile qui a cent fois la masse du Soleil terminera sa vie... à 4 heures du matin le 1<sup>er</sup> janvier! Et oui, la vie de cette grosse étoile est deux mille fois plus courte... même si, au départ, elle possédait cent fois plus d'hydrogène à convertir en hélium.

Tout cela parce qu'elle brûle son carburant tellement plus rapidement – tellement plus efficacement – que le Soleil. D'une certaine façon, on pourrait dire qu'une grosse étoile brûle la chandelle par les deux bouts!

**Est-ce que c'est ce qui se passe au sein de Bételgeuse?**

Oui. Cette étoile a environ vingt fois la masse solaire, et bien qu'elle ne soit âgée que de 10 millions d'années – elle est 450 fois plus jeune que le Soleil –, elle a déjà quitté la séquence principale de sa vie il y a des centaines de milliers d'années. Elle a brûlé son carburant des centaines de fois plus rapidement que le Soleil et, pour cette raison, elle a été des centaines de fois plus lumineuse. Bételgeuse est rendue dans la phase finale de sa vie, alors qu'elle transforme son hélium en carbone et en oxygène. Il ne lui reste en fait que très peu de temps avant qu'elle n'explose en supernova – très peu de temps en terme astronomique, s'entend.

Bételgeuse est une étoile vingt fois plus massive que le Soleil (et cent fois plus grosse, repérez le Soleil en haut à droite). Pourtant, sa vie sera des centaines de fois plus courte que celle du Soleil.



## V – Les étoiles Wolf-Rayet

**Vous vous intéressez à un type d'étoiles très particulier – les étoiles Wolf-Rayet – qui sont de grosses étoiles. D'où vient votre intérêt et qu'ont-elles de si particulier ces étoiles?**

C'est un hasard de la vie qui a fait que je me suis intéressé à ces étoiles. Lorsque j'étais au bacc en physique à l'Université de Montréal, il y avait un professeur que je trouvais extrêmement intéressant: Tom Moffat. Je suis donc allé le voir pour lui offrir mes services comme étudiant: «Pourrais-je faire ma maîtrise avec vous?», lui ai-je demandé. Il a accepté. Or, son sujet d'étude, ce sont les étoiles Wolf-Rayet. C'est donc le hasard de la vie qui m'a mené à m'intéresser à ces étoiles... que je considère à présent comme les plus intéressantes de toutes!

**Présentez-nous-les: en quoi les étoiles Wolf-Rayet sont-elles si intéressantes?**

Ce sont les astronomes Charles Wolf et Georges Rayet qui, en 1867, ont obtenu le spectre d'étoiles se trouvant dans la constellation du Signe. Ils se sont alors vite rendu compte que certains spectres étaient franchement très particuliers.

Le spectre d'une étoile, c'est lorsqu'on prend la lumière en provenance de celle-ci pour la décomposer à l'aide d'un prisme (ou autre séparateur de lumière). On y voit alors les différentes longueurs d'ondes, les différentes couleurs de l'étoile.



Exemple d'un spectre de la lumière décomposée en provenance d'une étoile. Les lignes noires indiquant la présence des éléments chimiques composant cette étoile (hydrogène, hélium, etc.).

Par exemple, lorsqu'on obtient le spectre du Soleil, on voit qu'à certaines longueurs d'onde, il y a un manque de lumière, il y a des raies noires. Ces manques de couleur, ces lignes noires nous indiquent la présence des éléments chimiques qui constituent l'étoile; ce peut être de l'hydrogène, du carbone, de l'oxygène et autres éléments chimiques.

Mais dans le cas des étoiles Wolf-Rayet, au lieu d'avoir des manques de lumière à certains endroits du spectre, on observe plutôt une *augmentation* phénoménale de la lumière à certaines longueurs d'onde. Ce sont des étoiles qui présentent ce qu'on appelle des *raies d'émission*.

Or, ces raies d'émission, avons-nous compris par la suite, viennent du fait que les étoiles Wolf-Rayet s'évaporent. Elles s'évaporent littéralement des milliards de fois plus rapidement que ne le fait le Soleil!

Il s'agit donc d'étoiles qui perdent énormément de matière sous forme de vent stellaire.

**C'est ce qu'on appelle le vent solaire dans le cas du Soleil?**

Exactement. Dans le cas du Soleil, le vent solaire génère les aurores boréales sur Terre, mais il s'agit d'un vent extrêmement faible, tandis que le vent des étoiles massives – et particulièrement celui émis par les étoiles Wolf-Rayet – est des milliers de fois plus intense.

Ce sont donc des étoiles très massives qui ont quitté la séquence principale de leur vie – qui ne brûlent plus d’hydrogène mais qui commencent plutôt à brûler de l’hélium. Ce sont des étoiles qui sont en fin de vie et qui vont éventuellement exploser – dans très peu de temps, pensons-nous. Ce sont aussi des étoiles qui sont extrêmement actives et dont l’intensité lumineuse peut varier énormément.

Ajoutons que la composition chimique de ces étoiles est très étrange, puisqu’on ne retrouve pratiquement plus d’hydrogène dans la plupart d’entre elles. On ne retrouve que de l’hélium et de l’azote en surface. Dans certains cas, on trouve même du carbone et de l’oxygène en grande quantité, mais pas du tout de l’hydrogène... Voilà qui nous intrigue.

Or, ce qu’on a découvert, pour expliquer cette particularité, c’est que ces étoiles ont perdu leur enveloppe riche en hydrogène. Ce qu’on voit en réalité, c’est ce qui reste des réactions nucléaires qui ont eu lieu durant la séquence principale de la vie de l’étoile. On voit donc la grande quantité d’hélium qui a été produite lorsque l’étoile évoluait en séquence principale – lorsqu’elle convertissait son hydrogène en hélium.

Ce sont donc des étoiles uniques en leur genre et extrêmement intéressantes sous plusieurs aspects.

**Nous avons repéré quelques milliers d’étoiles Wolf-Rayet dans notre galaxie?**

Oh, beaucoup moins! Je pense qu’on en compte de 500 à 600, mais nous estimons qu’il y en a bien davantage. Mais il



Exemple d’une étoile Wolf-Rayet (WR 124) explosant dans une galaxie lointaine.

est en fait très difficile de repérer ces étoiles à cause de la quantité de poussière que recèle la Voie lactée, poussière qui nous empêche de voir quantité d’étoiles.

On repère par contre beaucoup plus facilement les étoiles dans les galaxies voisines. Nous savons par conséquent que le recensement des étoiles Wolf-Rayet est très incomplet dans la Voie lactée. Il y en aurait probablement quelques milliers mais nous, nous n’en connaissons que de 5 à 10 % seulement.

**Ce sont des étoiles qui ont dispersé leurs couches de matière périphérique et qui vont bientôt – toute chose étant relative en astronomie – exploser sous forme de supernova?**

C’est effectivement ce que la théorie nous indique. Par contre, on n’a encore jamais vu d’étoiles Wolf-Rayet exploser pour devenir des supernovas. Ce sont uni-

quement les modèles d'évolution stellaire qui nous prédisent qu'elles devraient éventuellement se transformer en supernova.

Une supernova, c'est lorsqu'à la fin de la vie d'une grosse étoile, il n'y a vraiment plus de carburant à brûler... Mais je vous rassure tout de suite: le Soleil ne deviendra pas une supernova, puisque c'est uniquement les étoiles qui ont une masse d'environ huit fois celle du Soleil qui explosent de cette façon.

Ces grosses étoiles vont avoir produit quantité d'éléments lourds, jusqu'au fer et au nickel. Mais, à un moment donné, il n'y a plus de carburant pour produire les éléments chimiques plus lourds. L'étoile perd donc forcément sa source d'énergie interne. Dans un premier temps, elle s'effondre sur elle-même, la gravité l'emporte puisqu'il n'y a plus de sources d'énergie interne pour la contrebalancer. L'étoile s'effondre alors extrêmement rapidement sur elle-même, en quelques fractions de seconde!

Puis on assiste à un phénomène de rebond qui fait exploser les couches extérieures de l'étoile. L'étoile expulse alors la matière qui forme ses couches périphériques à des vitesses prodigieuses, à quelque chose comme de 10 000 à 15 000 kilomètres à la seconde!

Et tout ce qui reste est soit une étoile à neutrons ou un trou noir, c'est-à-dire des objets de quelques kilomètres de diamètre qui sont extrêmement massifs.

**Au moment de l'explosion, lorsque l'étoile se transforme en supernova, elle devient alors extrêmement lumineuse. Et si une telle explosion survenait pas très loin de nous, on la verrait très bien, même à l'œil nu?**



Illustration d'une étoile à neutrons. On calcule qu'une cuillerée de la matière d'une telle étoile pèserait sur Terre des *milliards* de tonnes!

Tout à fait. Si par exemple Bételgeuse explosait demain matin – il en a d'ailleurs été question l'année dernière, mais ce ne fut pas le cas –, on la verrait à l'œil nu. En effet, lorsqu'une étoile se transforme en supernova, elle devient des dizaines, voire des centaines de millions de fois plus lumineuse qu'en temps normal. Bételgeuse deviendra donc extrêmement lumineuse lorsqu'elle se transformera en supernova.

**Y a-t-il des étoiles Wolf-Rayet pas très loin et qui pourraient être dangereuses pour nous?**

Non... malheureusement, car j'aimerais tellement qu'il y en ait une proche de nous pour l'étudier en détail. Les plus proches étoiles Wolf-Rayet se trouvent dans la constellation du Cygne, mais elles sont alors à des milliers d'années-lumière de nous. Si donc l'une d'elles explosait, il n'y aurait aucun danger pour nous. Et même Bételgeuse, qui n'est qu'à 650 années-lumière, ne pose pas vraiment de danger lorsqu'elle explosera. On n'a vraiment rien à craindre...

**L'année dernière, vous avez publié un livre au titre absolument admirable: Des vagues dans l'espace-temps, splendeur**

***des étoiles massives.*** Parlez-nous de votre livre. Vous y présentez les fabuleuses étoiles Wolf-Rayet et leur vie étonnante?

Et oui. Ce livre, c'est mon deuxième ouvrage de vulgarisation. J'en avais produit un premier il y a une dizaine d'années – *Chroniques des années-lumière* – qui regroupe justement les chroniques que j'ai faites à l'émission radio *Les Années-lumière* de Radio-Canada.

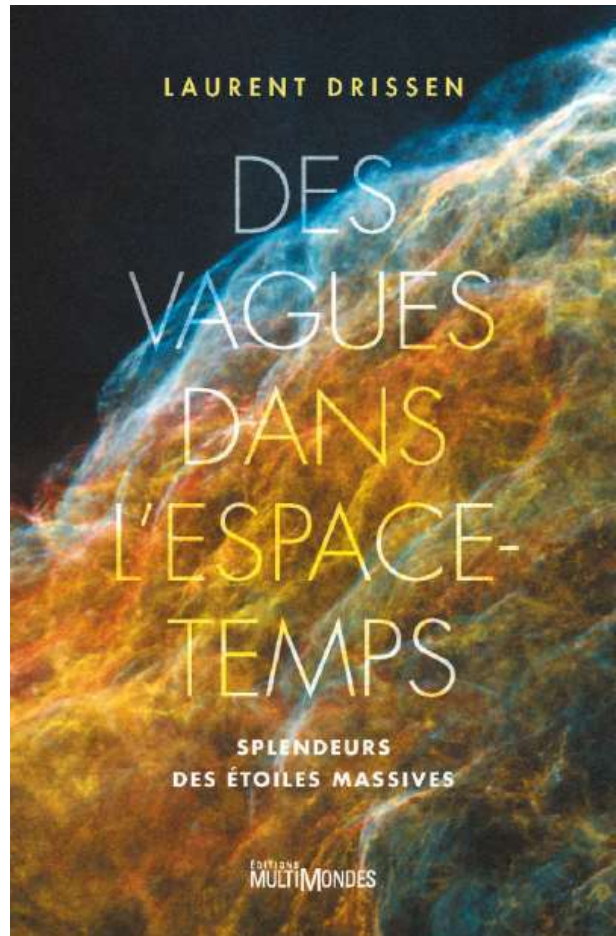
Mais si mon livre sur les étoiles massives n'a été publié que l'année dernière, c'est qu'il m'a fallu une dizaine d'années pour le rédiger! En fait, c'est un sujet qui me passionne tant que j'ai dû lire beaucoup afin de m'assurer que ce que je disais était correct. J'ai lu quantité de livres au sujet des étoiles et sur l'histoire de l'astronomie puisque dans ce livre, j'inclus beaucoup de faits historiques sur les étoiles massives, sur les étoiles en général et sur le Soleil. J'ai donc voulu mettre dans ce livre à peu près tout ce que je sais et tout ce que je trouve intéressant à propos des étoiles massives.

## Les ondes gravitationnelles

C'est ainsi que dans mon livre, je traite de quelque chose de tout à fait nouveau sur le plan observationnel: les ondes gravitationnelles.

Il s'agit d'ondes émises principalement lors de la collision entre deux trous noirs ou entre deux étoiles à neutrons. Le phénomène en tant que tel est si violent qu'il perturbe la structure même de l'espace-temps, perturbations qui se propagent jusqu'à nous.

Mais pour les détecter, il nous a fallu concevoir les instruments de mesure les plus précis jamais conçus par l'humanité: il s'agit des détecteurs d'ondes gravitationnelles. J'ai donc inclus ce phénomène



Le livre de Laurent Drissen aux Éditions MultiMondes.

propre aux étoiles massives dans mon livre et c'est ce qui a donné le titre: *Des vagues dans l'espace-temps, splendeur des étoiles massives.*

Les détecteurs d'ondes gravitationnelles sont essentiellement de longs tunnels – de plusieurs kilomètres de long – dans lesquels ont fait se réfléchir un faisceau laser. On mesure ainsi la distance entre deux miroirs séparés de quatre kilomètres. Or, les perturbations engendrées par les ondes gravitationnelles sont infiniment petites: elles ne sont que d'une fraction du diamètre d'un proton! Il s'agit donc d'un phénomène excessivement difficile à détecter. Les premières ondes gravitationnelles l'ont été en 2015.

En a-t-on détecté de nouvelles depuis ce temps? Y en a-t-il régulièrement ou est-ce un phénomène exceptionnel?

On en détecte de plus en plus. Récemment, l'observatoire américain a d'ailleurs annoncé en avoir repérées une trentaine ou une cinquantaine au cours de la dernière année.

Le réseau de détecteurs d'ondes gravitationnelles a été mis au point à partir de 2015, mais sa sensibilité ne cesse de s'améliorer. Voilà qui fait que le taux de détection des ondes gravitationnelles s'accroît sans cesse depuis 2015. On s'attend même à être capable d'en repérer plusieurs par semaine au cours des prochaines années.

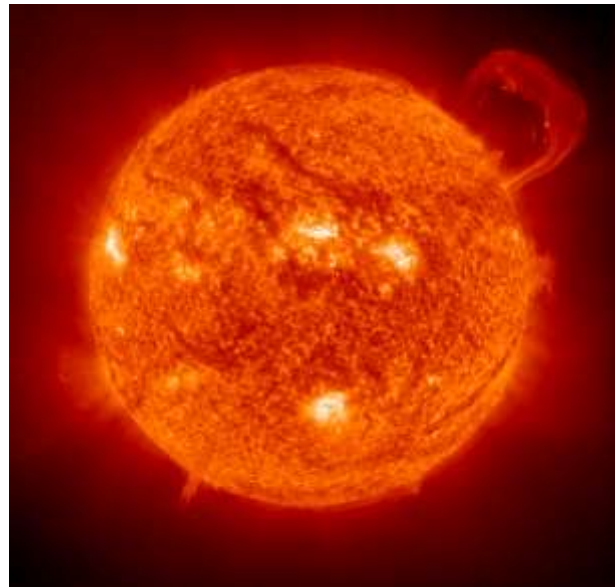
## VI – La mort du Soleil

Revenons au sujet de la mort des étoiles, mort qui dépend de leur masse, de sorte que plus une étoile est massive, plus sa fin de vie sera spectaculaire. Si on pense au Soleil, qui est une étoile de masse intermédiaire, comment va-t-il terminer ses jours, dans quelques 4 à 5 milliards d'années?

La vie d'une étoile en général est une recherche d'équilibre entre la force gravitationnelle qui s'exerce vers l'intérieur et la pression du gaz générée par les sources d'énergie intérieures que sont les réactions nucléaires.

Présentement, le Soleil est stable, il transforme son hydrogène en hélium. Dans 4 à 5 milliards d'années, il va commencer à transformer son hélium en carbone et éventuellement en oxygène. Il y aura alors un rééquilibrage qui se produira à l'intérieur de l'étoile. Il va devenir ce qu'on appelle une *géante rouge*. Son noyau va alors se contracter tandis que les couches extérieures vont gonfler, cette géante rouge va devenir beaucoup plus grosse que le Soleil actuel, elle occupera tout l'espace où gravitent actuellement Mercure, Vénus, la Terre et Mars.

Après quoi, lorsque l'hélium aura été épuisé dans la partie centrale du Soleil, il ne restera plus aucune source d'énergie. Les couches périphériques qui l'enveloppaient vont alors se dissiper dans l'espace pour devenir ce qu'on appelle une *nébuleuse planétaire*. Elles vont finir par se



Le Soleil: une étoile tranquille (pour le moment) mais néanmoins bouillonnante d'activités.

mélanger au milieu interstellaire, tandis que le cœur du Soleil va devenir ce qu'on appelle une *naine blanche*.

Ce cœur, principalement composé de carbone et d'oxygène, va se refroidir petit à petit. Le carbone et l'oxygène vont éventuellement se condenser en cristaux et pourraient être entourés par une petite

atmosphère d'hydrogène. Mais il s'agira d'une atmosphère extrêmement mince. Cet astre existera pour le temps que durera notre galaxie...

**Notre étoile va s'éteindre tout doucement, elle ne connaîtra pas une fin de vie spectaculaire comme les étoiles massives qui terminent leur vie en supernova?**

Les étoiles qui ont une masse inférieure à huit fois celle du Soleil terminent leur vie comme celui-ci, donc en devenant des naines blanches entourées d'une nébuleuse planétaire.

Celles qui ont plus de huit fois la masse du Soleil poursuivent leur vie au-delà de la création du carbone et de l'oxygène. Les atomes de carbone se fusionnent les uns aux autres, de même que ceux d'oxygène pour produire du magnésium, du silicium... jusqu'au fer et au nickel. Et lorsque toutes ces réserves d'énergie sont enfin épuisées, c'est alors que l'étoile s'effondre de manière extrêmement rapide. La fin de vie d'une étoile massive se produit lors d'une explosion qui ne dure que *quelques fractions* de secondes!

**Ça donne alors un prodigieux flash, qu'on n'a pas vu se produire au sein même de notre galaxie? On n'a pas encore eu la chance de voir ce phénomène dans les temps modernes, n'est-ce pas?**

En effet, pas dans les temps modernes dans la Voie lactée. Par contre, on en observe tous les jours, sinon même plusieurs fois par jour, dans d'autres galaxies.

Ce fut le cas, notamment, de la supernova 1987A, qui est survenue dans la galaxie voisine qu'on appelle le Grand nuage de Magellan, une galaxie satellite de la Voie lactée.

## **Le Grand nuage de Magellan et la supernova SN 1987A**

La Voie lactée est accompagnée par deux petites galaxies qu'on ne peut hélas voir que depuis l'hémisphère sud – d'où le fait qu'on les connaisse peu. Elles ont été repérées par le grand navigateur Fernand de Magellan, d'où leur appellation: le Grand et le Petit nuages de Magellan.

Malgré son nom, le Grand nuage de Magellan est une galaxie naine, mesurant quelques 14 000 années-lumière de diamètre et composée de 30 milliards d'étoiles. (Par comparaison, la Voie lactée mesure 100 000 années-lumière et compte au moins 200 milliards d'étoiles.) Elle se trouve à seulement 163 000 années-lumière de nous (tandis que la galaxie voisine d'Andromède est à 2,5 millions d'années-lumière).

Le 23 février 1987, une étoile massive de cette galaxie a «mis fin à ses jours» en se transformant en supernova. Baptisée SN 1987A («1<sup>ère</sup> supernova de 1987»), il s'agit de la première supernova visible à l'œil nu des temps modernes. Par conséquent, elle a été scrutée par toute la gamme des instruments astronomiques disponibles, ce qui a permis de confirmer l'essentiel de nos théories concernant la fin de vie des étoiles massives.

Trente ans plus tard, on continue toujours d'observer SN 1987A, ainsi que le nuage de ses couches périphériques qui se répand dans l'espace interstellaire.

Je me suis rendu observer la supernova 1987A au Chili et je me souviens très bien l'avoir vu à l'œil nu. Tous les observatoires de la planète se sont d'ailleurs mis



La supernova 1987A (en forme d'œil, au centre) dans le Grand nuage de Magellan. (NASA)

à l'observer, ce qui a été une mine d'information exceptionnelle pour nous.

À présent, on observe de manière très régulière quantité de supernovas qui apparaissent dans les galaxies voisines. Il y a donc beaucoup de suivi de supernovas. Mais dans la Voie lactée, ça fait environ trois siècles qu'on n'en a pas observé une.

### **Cinq supernovas «historiques»**

Au cours du Moyen-âge, on a recensé cinq étoiles massives dans notre galaxie qui ont un jour explosé pour devenir de spectaculaires supernovas. Pour les astronomes de l'époque, ce fut autant d'événements troublants puisqu'on considérait alors que le Ciel était parfait et immuable.

C'est ainsi que la supernova apparue en 1054 a été observée et documentée

en abondance par les astronomes chinois tandis qu'elle est «passée sous silence» dans la Chrétienté! Il s'agit de la première supernova identifiée comme telle et elle a donné naissance à la belle Nébuleuse du Crabe.

Auparavant, en 1006, une supernova très lumineuse est apparue dans la constellation du Loup. Il s'agit probablement de la plus lumineuse des supernovas historiques mais on possède peu d'information à son sujet. Une autre supernova est survenue en 1181, dans la constellation de Cassiopée, mais elle était si peu lumineuse qu'elle est passée presque inaperçue.

Par contre, une autre supernova surgit dans la constellation de Cassiopée en 1572. Elle est surnommée Tycho en l'honneur de Tycho Brahe, qui en fut l'un des observateurs les plus assidus. Celui-ci s'en est même servi pour réfuter le dogme de l'immuabilité des cieux. (Mais mal lui en pris...)

Enfin, en 1604, une supernova apparaîtrait dans la constellation d'Ophiuchus. Elle est observée par Johannes Kepler. À notre connaissance, il s'agit de la dernière supernova à s'être produite dans notre galaxie.

Mais au rythme où surgissent les supernovas, on aurait dû en observer quelques-unes depuis ce temps. On s'attend donc à en voir surgir une «d'un jour à l'autre» dans notre galaxie. Mais quand? Personne ne peut le dire. Ce sera alors un formidable événement astronomique... et populaire.

**Qu'est-ce qui arrive aux petites étoiles, celles dont la masse correspond à environ un dixième de celle du Soleil?**

Leur durée de vie en séquence principale est extraordinairement longue. C'est ainsi que les petites étoiles qui se sont formées peu après le Big Bang – il y a environ 13 milliards d'années – ne sont rendues qu'à une fraction de leur vie totale. Comme nous l'avons dit, plus une étoile est petite, plus elle met du temps à brûler son carburant et bien qu'elle soit beaucoup moins massive que le Soleil, elle se consume si lentement que sa vie devrait durer plusieurs fois l'âge de l'Univers actuel. La vie des petites étoiles pourrait s'étendre sur des *centaines de milliards* d'années!

**Ce sont quasiment des étoiles éternelles!**

## VII – Planète ou étoile?

**Dans nos recherches, nous repérons des étoiles de plus en plus petites tout en découvrant des planètes de plus en plus grosses, arriverons-nous un jour à découvrir une sorte d'astres qui ne soit plus des planètes mais pas encore des étoiles, des astres à la limite entre ces deux types de corps céleste?**

Oui. Il y a même un type d'étoiles qu'on appelle des *naines brunes*. Leur étude sérieuse a débuté il y a une vingtaine d'années et aujourd'hui, il y a de grands spécialistes des naines brunes, notamment à l'Université de Montréal. Ce sont en quelque sorte des objets intermédiaires entre planètes et étoiles.

Si donc la définition d'une étoile, c'est de briller grâce à des réactions nucléaires qui impliquent la transformation de l'hydrogène en hélium, alors que les planètes n'ont pas du tout de réactions nucléaires, les naines brunes brûlent plutôt du deutérium (ou hydrogène lourd). Or, le deutérium brûle à des températures beaucoup moins élevées que l'hydrogène, on parle

de quelques millions de degrés, plutôt que d'une dizaine ou quinzaine de millions de degrés dans le cas des étoiles qui brûlent de l'hydrogène.

Ces naines brunes génèrent donc des réactions nucléaires mais ce ne sont pas des étoiles à proprement parler puisqu'elles ne brûlent pas de l'hydrogène à des dizaines de millions de degrés. Elles sont un peu l'intermédiaire entre des étoiles et des planètes.

On en connaît beaucoup et on étudie même la formation de nuages dans l'atmosphère des naines brunes. C'est une catégorie d'objets absolument passionnants.

## VIII – Un astronome perplexé...

En terminant, j'aimerais savoir ce que toutes les recherches que nous menons à propos des étoiles – tout ce qu'on a appris à leur sujet ces dernières décennies – nous disent à propos de notre quête de vie dans l'Univers. Est-ce que toutes ces connaissances renforcent notre espoir de trouver de la vie, ou est-ce plutôt l'inverse?

Ma réponse va peut-être vous surprendre, mais moi, tout ça me laisse complètement indifférent! Je n'ai absolument aucun intérêt pour la recherche de vie dans l'Univers. Le jour où on nous dira qu'on a détecté des traces de chlorophylle sur une planète gravitant autour de telle étoile, je vais répondre: «Ok, c'est génial.» Mais j'avoue que je suis extrêmement terre-à-terre à ce sujet; bien sûr, c'est un sujet qui mérite notre attention, mais je ne m'y intéresse pas du tout.



*Tut, tut, prof Drissen!*

J'ai assisté à des échanges entre biologistes et astronomes et je constate qu'en général, les astronomes sont assez optimistes quant aux possibilités de détecter de la vie dans l'Univers, tandis que les biologistes (du moins, ceux que j'ai entendus) sont plutôt pessimistes. C'est donc un débat en cours.

Personnellement, je dirais que je suis optimiste puisque les conditions qui mènent à la vie devraient se retrouver partout. Ce n'est en effet pas très difficile de repérer des planètes où la température permet l'existence d'eau liquide. Ce n'est pas non plus si compliqué de mélanger des éléments chimiques pour former des molécules complexes qui vont éventuellement aboutir à la vie. Donc, selon moi, naïvement, j'estime qu'il devrait y avoir de la vie ailleurs... Mais bonne chance pour ceux qui en cherchent!

### ... aux rêves surprenants

**Comme dernière question: si on vous offrait une baguette magique pour étudier un aspect particulier des étoiles, qu'est-ce que vous aimeriez voir, qu'aimeriez-vous chercher ou trouver en ce qui concerne les étoiles?**

En fait, si j'avais un rêve, ce serait de voir une étoile Wolf-Rayet devenir supernova – ce qu'on n'a jamais vu encore. Il faudrait cependant être averti quelques jours à l'avance afin qu'on soit prêt à l'observer. Voilà qui nous permettrait de comprendre enfin ce qui se passe avec ce type d'étoiles.

Si donc j'avais une baguette magique, j'aimerais les faire exploser les unes après les autres!

Mon rêve ultime, ce serait de voir se transformer l'une des étoiles que je connais très bien, celle que j'ai étudiée durant plusieurs années. Il s'agit de l'étoile WR6HD50896 que j'ai étudiée durant ma maîtrise et qui présente des variations qui nous embêtent parce qu'on ne se les explique vraiment pas. Donc, si cette étoile pouvait exploser, à un moment donné, ce serait formidable.

Sérieusement, de voir une étoile que nous connaissons bien, puisqu'on l'a étudiée attentivement, se transformer en supernova, ce serait mon rêve.

**Pourra-t-on voir venir l'explosion d'une supernova quelques jours à l'avance ou**

est-ce si soudain qu'il faudrait vraiment être chanceux?

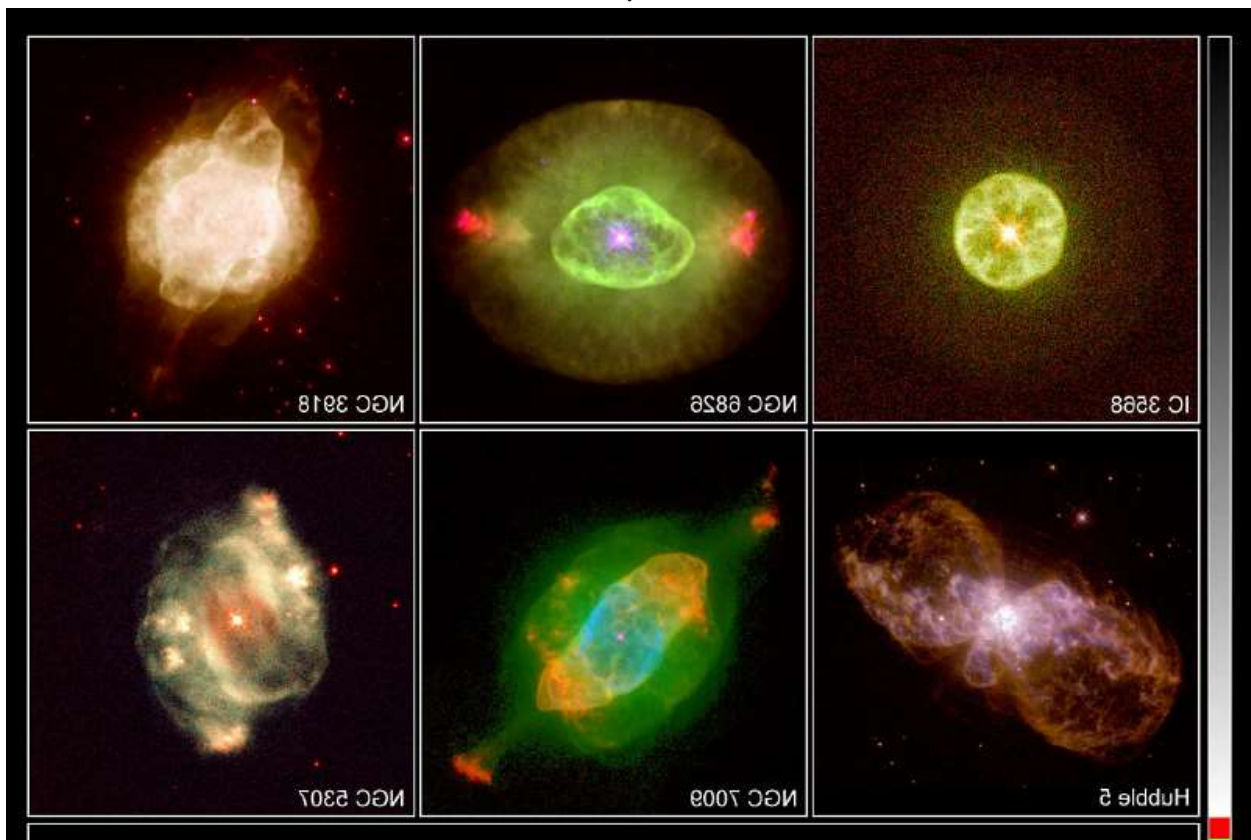
C'est très peu probable qu'on puisse voir venir l'explosion d'une supernova puisque, durant les dernières phases de la vie d'une grosse étoile, juste avant qu'elle n'explode en supernova, tout se passe à l'intérieur d'elle. Or, nous, nous ne pouvons voir que la partie extérieure de l'étoile. Il est donc peu probable qu'on ait le moindre avertissement de la part de nos étoiles. Je pense qu'elles vont exploser sans nous prévenir.

Ce qui est fascinant, c'est de penser qu'aujourd'hui, il y a quantité de téles-

copies partout sur Terre et dans l'espace et si jamais arrivait un phénomène semblable à la supernova de 1987, nous allons être beaucoup mieux équipés pour le suivre littéralement d'heure en heure. Si on ne peut pas assister à l'explosion en tant que telle, on pourra suivre les premières heures, les premiers jours du phénomène, ce qu'on n'a pas pu faire en 1987.

En effet, ce sera le cas. Dès que nous découvrons quelque chose de particulier, il y a une bonne part des observatoires sur la planète et même autour de la Terre qui se concentrent pour observer le phénomène.

## Un jour, notre Soleil...



Un jour, le Soleil va se transformer en nébuleuse planétaire: le cœur de notre étoile va s'effondrer sur lui-même, pour donner une naine blanche, tandis que les couches périphériques vont se répandre dans l'espace, pour donner lieu à des merveilles de la nature comme celles-ci.

# Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



Note: les fascicules ci-dessus accompagnent les balados *Voyage dans l'espace* mais ce ne sont pas tous les balados qui sont accompagnés par un fascicule. Il «manque» donc des numéros.

## Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



Note: les fascicules ci-dessus accompagnent les balados *Voyage dans l'espace* mais ce ne sont pas tous les balados qui sont accompagnés par un fascicule. Il «manque» donc des numéros.