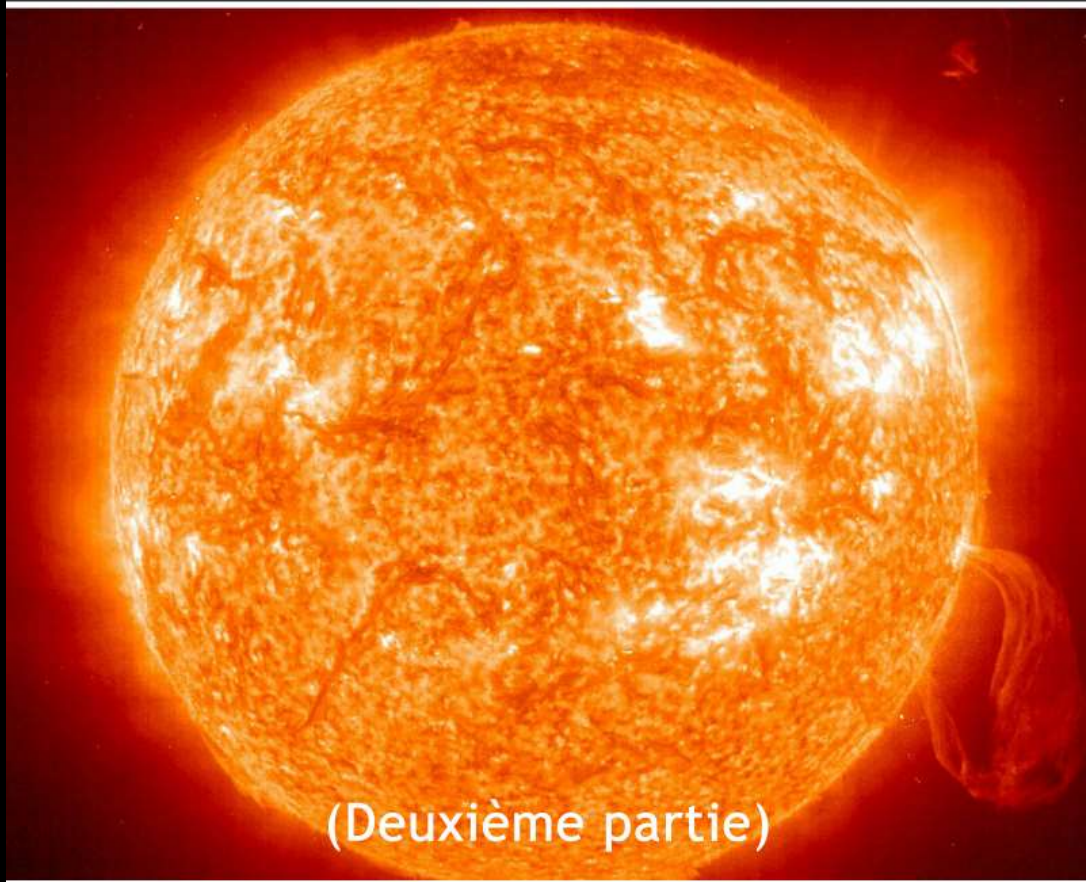


**VOYAGE
DANS
L'ESPACE**

Épisode

55

L'ÉTRANGE MONDE DES ÉTOILES



(Deuxième partie)

Notre Univers époustouflant...

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, [David Taylor](#)

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

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

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

Courriel: claude-lafleur1@videotron.ca

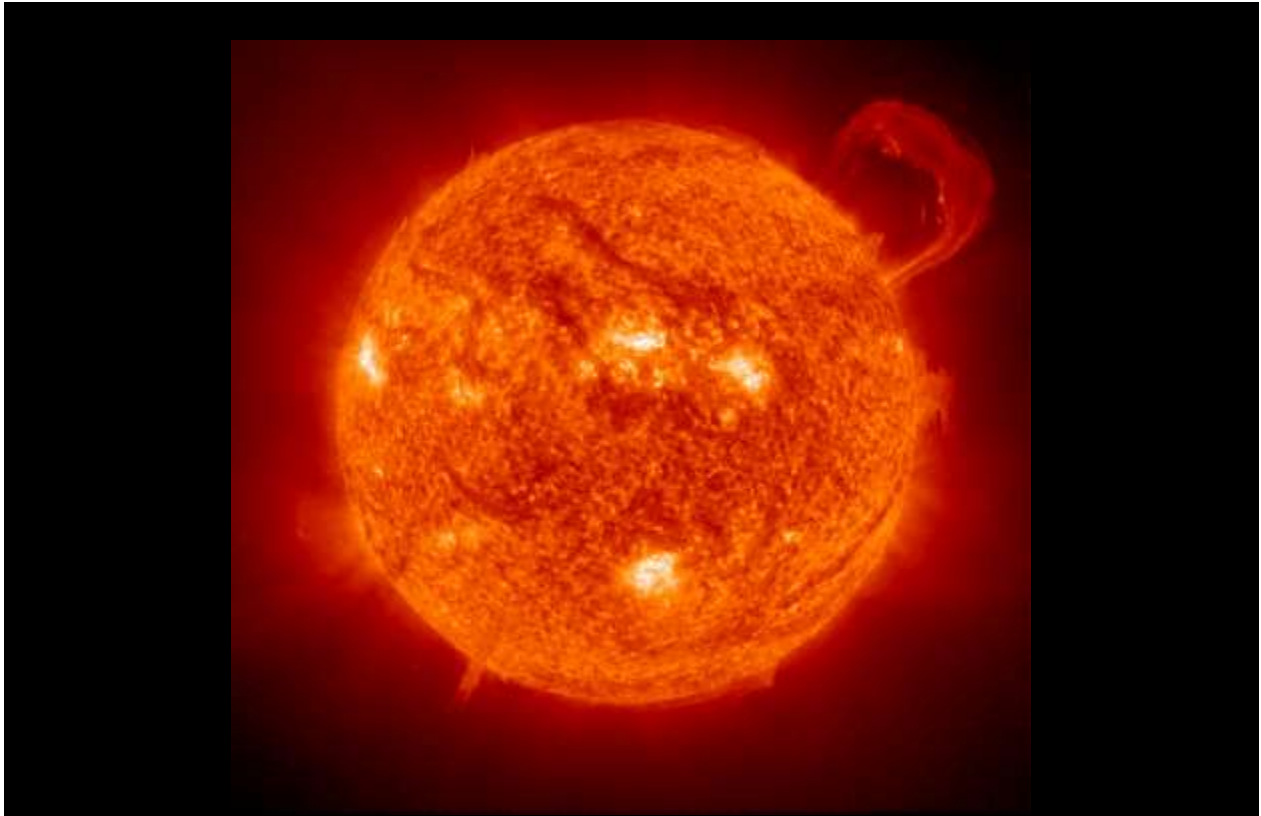
© Copyright, Claude Lafleur, 2020

ISBN 978-2-925106-13-5 (pdf)

ISBN 978-2-925106-14-2 (kindle)

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec, 2020

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Canada, 2020



Le Soleil dans toute sa splendeur. Sur cette photo, on observe nombre de taches solaires qui crachent d'immenses jets de matière. Cette photo fait aussi voir l'atmosphère formidablement chaude (2 millions de degrés) dans laquelle baigne notre étoile. Le Soleil mesure 4 370 000 km de circonférence; en faire le tour à bord d'un avion filant à la vitesse du son (1200 km/h) prendrait 150 jours, alors qu'il ne faudrait que 33 heures pour faire le tour de la Terre.¹

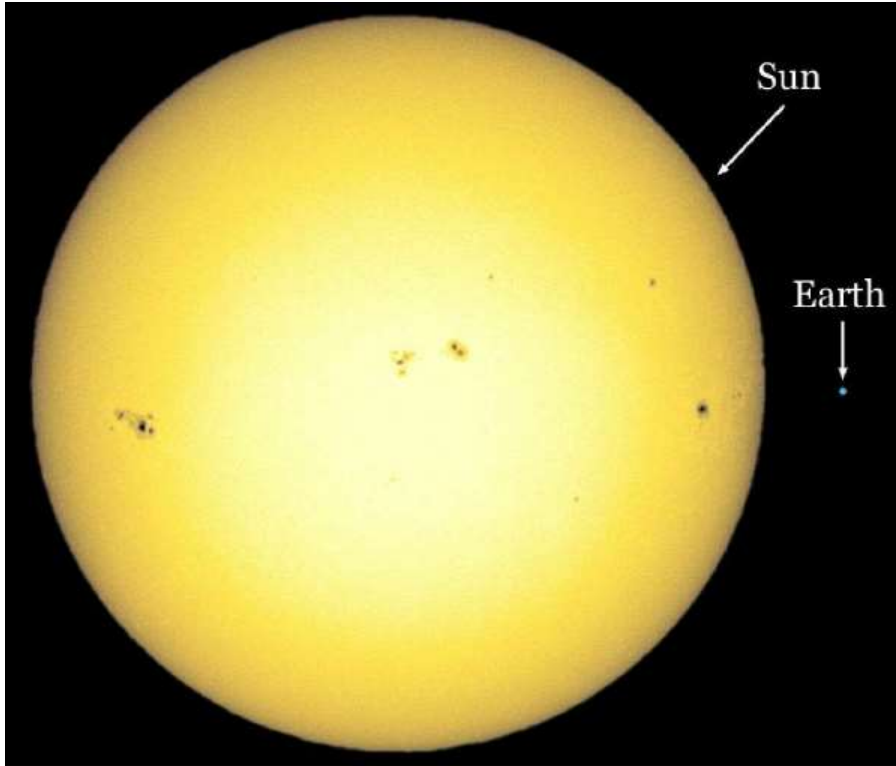
L'étrange domaine des étoiles

Écoutez le balado *L'étrange domaine des étoiles* diffusé le 20 décembre 2020.

I – Une étoile bien ordinaire, dit-on

«La Terre est au Soleil ce que celui-ci est à Bételgeuse.»

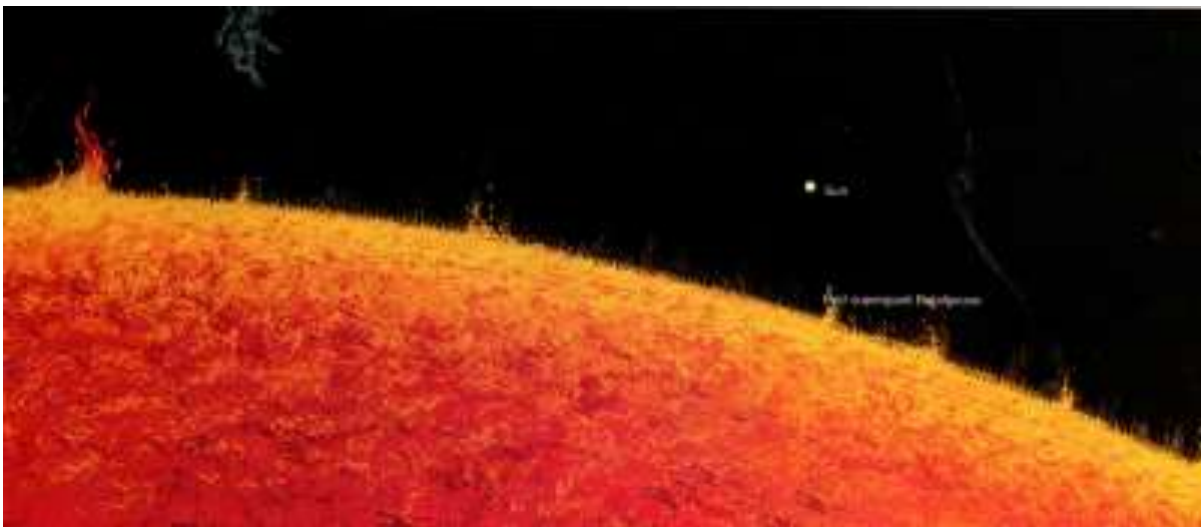
Voilà comment on pourrait résumer la taille prodigieuse des étoiles. Et puis- qu'une image vaut mille mots, illustrons ce fait à l'aide de deux représentations. Comparons d'abord la taille de la Terre à celle du Soleil:



La taille du Soleil avec, à sa droite, la Terre. Celle-ci fait 13 000 km de diamètre contre 1 400 000 km pour le Soleil. C'est dire que le Soleil est 109 fois plus gros que notre planète. Il pourrait contenir 333 000 fois la Terre.

On sait que le Soleil est 109 fois plus gros que la Terre. Mais ce chiffre ne rend pas vraiment compte de sa taille démesurée, comme le fait mieux ressortir l'image ci-dessus. Pourtant, le Soleil est considéré comme une étoile naine!

Naine puisqu'il y a des étoiles nettement plus grosses, certaines étant même mille fois plus imposantes que le Soleil. C'est le cas de Bételgeuse, tel qu'illustrée ci-dessous:



Taille de Bételgeuse comparée à celle du Soleil (en haut à droite). Incroyable, n'est-ce pas?

Bételgeuse mesure environ un milliard et demi de kilomètres de diamètre. Si on remplaçait le Soleil par cette étoile, Bételgeuse remplirait tout l'espace compris jusqu'à Jupiter, englobant du coup les orbites de Mercure, Vénus, la Terre et Mars!ⁱⁱ

Si notre étoile n'est considérée que comme une naine, c'est néanmoins un astre qui représente assez bien ce qu'est une étoile.

À lui seul, il compte pour 99,85% de toute la matière qui forme le Système solaire. Les planètes comptent pour 0,135%, tandis que Jupiter, à elle seule, contient 2½ fois plus de matière que l'ensemble des autres planètes. (C'est dire à quel point, nous sur Terre, on est bien peu de chose...) Et tout le reste – les satellites naturels, les comètes, les astéroïdes, les météoroïdes (encadrés ci-contre) et la matière interplanétaire – ne représente que 0,015% de la matière du Système solaire.ⁱⁱⁱ

Répartition de la matière composant le Système solaire

Le Soleil	99,85 %
Les planètes	0,135 %
Les comètes	0,01 %
Satellites naturels	0,00005 %
Les petites planètes	0,0000002 %
Les météoroïdes	0,0000001 %
La matière interplanétaire	0,0000001 %

À cause de sa taille et de sa couleur, les astronomes classent le Soleil comme une étoile de type *naine jaune*, tout en le considérant comme une étoile ordinaire et moyenne.

Il s'agit d'une immense boule de gaz incandescent qui dégage d'énormes quantités d'énergie sous forme de lumière, de chaleur et autres radiations. Sa température de surface est de 5500 degrés Celsius, tandis qu'elle atteint 15 millions au centre.

Qu'est-ce qu'une météoroïde?

Les *météoroïdes* sont des astéroïdes qui entrent en collision avec la Terre. En traversant à vive allure notre atmosphère, la plupart des météoroïdes se consomment et s'évaporent. Cependant, il arrive que des parcelles parviennent jusqu'au sol. On les retrouve alors sous forme de «vieilles pierres calcinées» qu'on appelle des *météorites*.

(Ce sont là des températures inimaginables pour nous qui vivons sur une planète où la température moyenne est de 15 °C.) Le Soleil émet ainsi toute l'énergie qui conditionne et régit notre climat, nos phénomènes météo, les courants marins, etc. Sans lui, nulle vie ne serait possible.^{iv}

Un fabuleux broyeur d'hydrogène

Notre étoile est tout simplement une immense boule de gaz composée d'hydrogène et d'hélium. En termes de masse, elle se compose à 70,6% d'hydrogène et à 27,4% d'hélium. Mais si on compte le nombre d'atomes, elle se compose alors à 91,0% d'hydrogène et à 8,9% d'hélium.^v

Il s'agit d'un immense «compresseur» qui transforme l'hydrogène en hélium. Au centre du Soleil, les pressions et températures sont si élevées que les atomes d'hydrogène se fondent les uns aux autres pour donner naissance à des atomes d'hélium – selon un procédé qu'on appelle la *fusion thermonucléaire*. Ce procédé génère aussi d'énormes quantités d'énergie que dégage notre étoile. Étonnamment, il faut 170 000 ans pour qu'un photon de lumière produit au cœur du Soleil se rende jusqu'à la surface. Mais à partir de là, ce photon ne mettra que huit minutes et 20 secondes pour parvenir jusqu'à nous, 150 millions de kilomètres plus loin, en filant à la vitesse de la lumière.

Comment expliquer qu'un photon mette tant de temps pour migrer du cœur de l'étoile jusqu'à sa surface, une distance de moins d'un million de kilomètres? C'est qu'au cœur de l'étoile, le photon rencontre énormément de résistance, se butant contre quantité d'autres photons qui, eux aussi, tentent de migrer vers la surface. Cependant, une fois parvenus en surface, les photons se retrouvent dans l'espace vide (ou presque) où ils ne rencontrent plus aucune résistance. Ils ne mettent alors que 8,3 minutes pour parvenir jusqu'à nous. (C'est pourquoi on peut dire que nous nous trouvons à seulement 8,3 minutes-lumière du Soleil.)^{vi} (Lire l'encadré ci-contre.)

Une «coïncidence» qui laisse songeur

Lorsqu'on regarde le Soleil ou qu'on ressent ses rayons chauds sur nous, c'est qu'on est alors bombardé par des photons qui se sont formés au cœur du Soleil il y a 170 000 ans. Or, il y a 170 000 ans sur Terre apparaissaient les premiers *Homo sapiens*, nos lointains ancêtres. C'est dire que nous avons mis tout ce temps pour parvenir au stade d'évolution d'aujourd'hui... pendant que le Soleil fabriquait les photons qui nous éclairent et nous réchauffent en ce moment. Sur qui, ou sur quoi, agiront les photons qui sont actuellement fabriqués au cœur du Soleil... dans 170 000 ans?

Parmi les nombreuses autres curiosités que présente le Soleil, il y a le fait que cette boule de gaz ne tourne pas sur elle-même en un seul bloc (comme le fait la Terre). Normal, puisqu'il s'agit d'une boule de gaz. C'est ainsi que l'équateur solaire met 25 jours pour effectuer une rotation complète tandis que ses pôles en prennent 36 jours.

Autre phénomène encore plus intrigant: la température augmente lorsqu'on s'éloigne du Soleil. En effet, comme nous

l'avons déjà relaté, la température à la surface est de 5500°C, tandis que dans l'atmosphère qui entoure le Soleil, elle atteint les 2 millions de degrés! Comment est-ce possible, puisque c'est comme s'il faisait plus chaud à distance d'un feu de camps que dans le feu lui-même? À l'heure actuelle, les spécialistes ne savent pas répondre à cette question et c'est pourquoi ils explorent actuellement les environs du Soleil à l'aide de la sonde Parker.^{vii}

II – Le monde époustouflant des étoiles

Tel que rapporté précédemment, le Soleil est une étoile de taille moyenne. Il existe des étoiles nettement plus volumineuses, comme l'illustre le dessin de la [NASA](#) ci-contre:

Cette illustration fait aussi ressortir le fait que les étoiles n'ont pas toutes la même couleur. Ainsi, Bételgeuse est rouge, Rigel bleu, Aldébaran orange, Sirius blanc tandis que notre Soleil est jaune. Il existe aussi quantité de minuscules étoiles (représentées au haut à gauche du dessin) qui peuvent être de couleur rouge, brune ou blanche.



En réalité, ces couleurs témoignent de la température à la surface de l'étoile. Ainsi, la température sur Bételgeuse est de 3300 °C, Rigel est de 10 000°, Aldébaran 3600°, Sirius 9600°, et notre Soleil

5500°. D'une manière générale, plus une étoile est chaude, plus sa couleur tend vers le bleu, et plus elle est froide, plus elle tend vers le rouge.^{viii}

Quelques étoiles remarquables

	Taille (Soleil = 1)	Masse (Soleil = 1)	Type
Bételgeuse	-1000	10 à 20	Supergéante rouge
Antarès	-850	12	Supergéante rouge
Canopus	70	7	Supergéante
Rigel	80	2	Supergéante bleue
Aldébaran	45	1.13	Géante orangée
Pollux	9	1,86	Géante orangée
Sirius	1,7	-1,5	Étoile blanche
Alpha du Centaure A	1,2	1,1	Naine jaune
Soleil	1	1	Naine jaune
Alpha du Centaure B	0,86	0,9	
Alpha du Centaure C	0,14	0,1	Naine rouge
Naines rouges	0,1		Étoiles les plus abondantes dans notre galaxie
Naines brunes		0,013 à 0,075	Les plus petits astres considérés comme des étoiles

Un étonnant classement d'étoiles

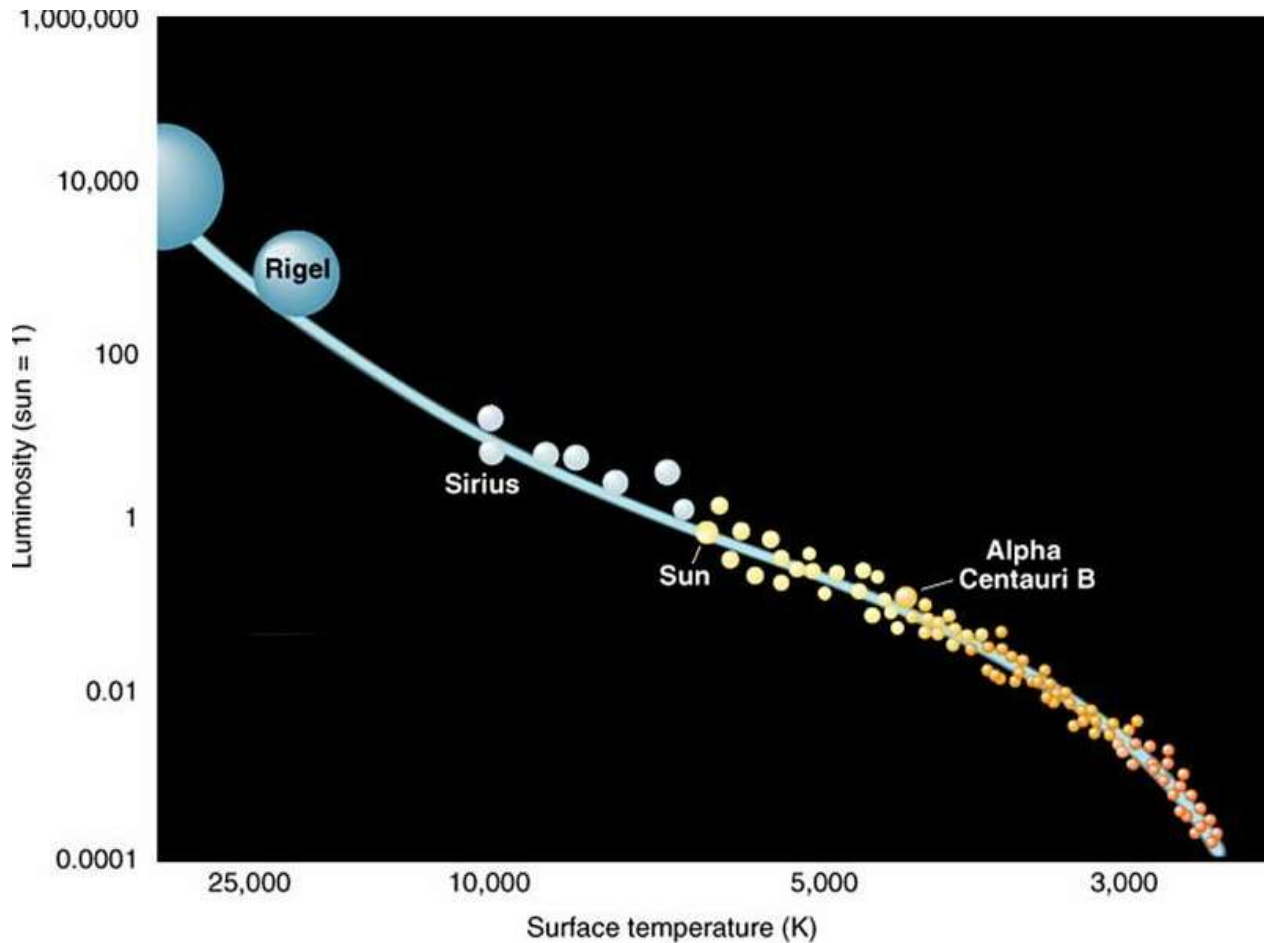
En 1912, l'astronome danois Ejnar Hertzsprung postule que la couleur des étoiles est directement liée à la température de leur surface. Il émet ainsi l'hypothèse que les étoiles bleues sont les plus chaudes et les plus grosses tandis que les étoiles rouges sont les plus petites et les moins chaudes.

À la même époque aux États-Unis, et sans connaître les travaux d'Hertzsprung, Henry Norris Russell avance les mêmes idées. Hertzsprung postule également que les étoiles commenceraient leur vie en tant qu'étoiles bleues pour la terminer

comme étoiles rouges; autrement dit, qu'elles s'éteindraient progressivement.

Les deux astronomes ont de la sorte conçu un graphique qui a fait sensation à l'époque et qui demeure toujours aussi pertinent un siècle plus tard. Il s'agit du diagramme Hertzsprung-Russell qu'on considère comme «le plus important diagramme de l'histoire de l'astronomie» puisqu'il nous permet de comprendre la nature des étoiles.^{ix}

Ainsi, lorsqu'on place sur une grille un grand nombre d'étoiles en fonction de leur éclat et de leur température de surface, on obtient que 90% d'entre elles s'inscrivent sur une belle courbe, tel qu'illustrée dans le diagramme Hertzsprung-Russell:

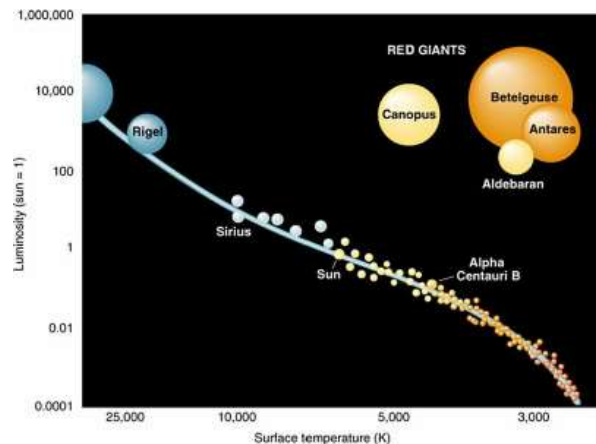


On observe ainsi que Rigel figure au sommet des étoiles chaudes et brillantes, tandis que le Soleil se trouve au centre, alors qu'Alpha du Centaure B est une étoile moins éclatante et moins chaude.

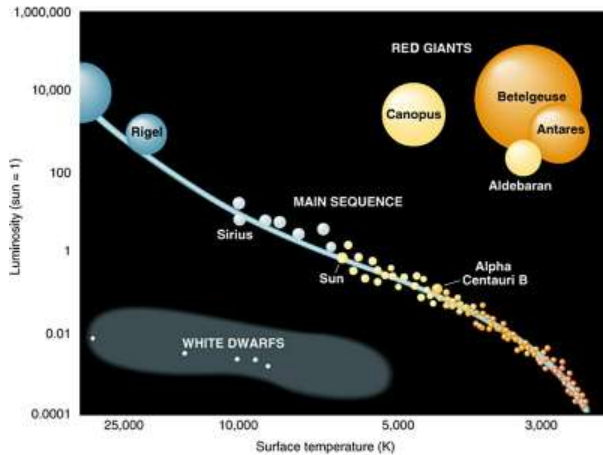
Au sommet du graphique figurent les étoiles les plus massives (40 fois la masse du Soleil) et les plus lumineuses, jusqu'à 160 000 fois. À l'opposé, les plus petites étoiles inscrites au bas à droite du diagramme sont treize fois moins massives que le Soleil et dix mille fois moins lumineuses.^x

Si la grande majorité des étoiles s'inscrivent le long de cette courbe, les astronomes ont néanmoins repéré un groupe d'étoiles qui font bande en part. Tel que l'illustre le graphique ci-contre, ils ont répertorié un certain nombre d'étoiles très

lumineuses mais plutôt froides. Ces étoiles figurent par conséquent en haut à droite du graphique. On y retrouve notamment Bételgeuse, Aldébaran, Antarès et Canopus. Les astronomes désignent cette catégorie d'étoiles des géantes rouges.^{xi}



Enfin, il existe un second groupe d'étoiles qui se classe en bas à gauche du graphique, des étoiles qui sont par conséquent peu lumineuses mais assez chaudes tout de même. On les appelle des naines blanches.^{xii}



Quant au 90% des étoiles qui forment la courbe principale, on a établi depuis qu'elles se trouvent dans ce que les astronomes appellent la *séquence principale* de la vie des étoiles.

En fait, ce que les astronomes ont mis au jour, c'est le fait que 90% des étoiles sont des compresseurs qui transforment leur hydrogène en hélium, comme le fait le Soleil. Il y a bien entendu des étoiles qui, dès le départ, sont beaucoup plus massives que la nôtre alors que d'autres le sont moins. Mais toutes les étoiles qui s'inscrivent dans la séquence principale sont de gigantesques broyeurs d'hydrogène.

Comme on peut l'imaginer, la durée de vie d'une étoile dépend de la quantité d'hydrogène dont elle dispose au départ. Cependant, et contrairement à ce qui va de soi, plus une étoile est massive – plus

elle contient de carburant de départ – moins longue sera sa vie! Ainsi, l'espérance de vie d'une géante bleue comme Rigel se compte en dizaines de millions d'années, tandis que celle du Soleil est de dix milliards, alors que les plus petites étoiles peuvent espérer vivre des dizaines de milliards d'années – c'est-à-dire beaucoup plus longtemps que l'Univers existe (13,7 milliards d'années)!

Comment expliquer un tel paradoxe? Par le simple fait que, plus une étoile est massive, plus les températures et les pressions en son centre sont élevées. Or, de telles conditions favorisent la conversion rapide de l'hydrogène en hélium. Inversement, moins massive est une étoile, plus elle se consume lentement et plus longue elle brillera.^{xiii}

Les étoiles qui se classent dans la séquence principale du diagramme Hertzsprung-Russell vivent ainsi une existence normale et «paisible» (même si en réalité, toute étoile bouillonne d'activités), tandis que le 10% restant sont des étoiles qui ont connu une fin tragique et époustouflante.

Car en effet, un jour, toute étoile arrive au terme de sa vie – au terme de la *séquence principale* de sa vie. Eh oui, toutes les étoiles finissent par mourir. Ce sera le cas de notre Soleil! Mais rassurons-nous, on prévoit que ce ne sera pas avant cinq milliards d'années – ce qui est une période de temps *énorme*.























Dans le prochain épisode de *Notre Univers époustouflant*, nous allons expliquer quand et comment le Soleil finira ses jours... et ce qui arrivera de la Terre. ■

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*

<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 10</p> <p>ALEXEI LEONOV</p>  <p>Le cosmonaute aux sept vies</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 11</p> <p>PARLONS DE... CAPSULES SPATIALES!</p>  <p>Pourquoi certaines nous reviennent à l'ère des capsules?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 12</p> <p>VIRGO, LA PREMIÈRE DÉCOUVERTE DE LA VIE SUR MARS</p>  <p>On entendait le bruit d'un décollage sur Mars habitable</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 13</p> <p>LA GRANDE PEUR DE 1910</p>  <p>Quand il paraît sur la gauche de l'écran</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 14</p> <p>PHOTONS D'ESPÉRANCE: LES ASTÉROÏDES</p>  <p>De petits astères qui nous surpassent tout le temps</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 15</p> <p>DES IDÉES PAS COMME LES AUTRES...</p>  <p>Équipage des rêves, réalisés ou pas, faut-il se réinventer pas toujours?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 16</p> <p>PRÉLUDES À APOLLO 11</p>  <p>La grande finale de la course à la Lune</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 17</p> <p>APOLLO 11 DANS LES COLISEES DE L'HISTOIRE</p>  <p>Et qu'on n'a pas souvent raconté...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 18</p> <p>NOTRE UNIVERS, BIZARRE, MYSTÉRIEUX ET... ÉPULSIF!</p>  <p>Proxima centauri</p> <p>À la frontière de nos connaissances... et même au-delà!</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 19</p> <p>NOTRE UNIVERS, BIZARRE, MYSTÉRIEUX ET... ÉPULSIF!</p>  <p>Proxima centauri</p> <p>À la frontière de nos connaissances... et même au-delà!</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 20</p> <p>LES SURPRISES DE L'ÉTÉ 2019</p>  <p>Est-ce pour les anniversaires dans l'espace?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 21</p> <p>POURQUOI MARS...</p>  <p>... nous obsède-t-elle autant?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 22</p> <p>OU EN SERONS-NOUS EN 2040?</p>  <p>Concrètement dans 20 ans, habiter les arides terres arides du Qatar</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 23</p> <p>L'ASTRONOMIE PAR L'IMAGE</p>  <p>Avec un grand instrument spatialisé</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 24</p> <p>LA LUNE, CETTE INCONNUE</p>  <p>De quoi tout savoir à son sujet... Mais non.</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 25</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGERS</p>  <p>1^{re} partie: le Grand Tour</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 26</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGERS</p>  <p>2^e partie: destination Jupiter et Saturne</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 27</p> <p>LA VOIE LACTÉE: UN MONDE DE L'INFINI</p>  <p>Le plus de l'infini se trouve souvent à distance</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 28</p> <p>ET SI ÇA L'ÉTAIT PASSE AUTREMENT...</p>  <p>Pour pas, la course à l'espace s'arrêtait (peut-être) tout de suite</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 29</p> <p>FIN 2000: À L'ORDRE DE LA PLANÈTE MÈRE</p>  <p>À la recherche d'un si de vie</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 30</p> <p>LES MINUSCULES PLANÈTES INEFFRABLES</p>  <p>Une distance à l'ère des 1980...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 31</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGERS</p>  <p>3^e partie: aux confins du système solaire</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 32</p> <p>LES GALAXIES: AUX FRONTIÈRES DE LA COSMOLOGIE</p>  <p>Comment se fait-il que nous existions?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 33</p> <p>LE SYSTÈME SOLAIRE N'EST PLUS CE QU'IL ÉTAIT</p>  <p>Proxima centauri</p> <p>Notre Univers épaississant...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 34</p> <p>LE MÉTIER D'ASTRONAUTE</p>  <p>Avec portrait de la femme astronote</p> <p>Claude Lefleur</p> <p>Opaline 1</p> <p>Les multiples chemins vers l'espace</p>

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.

ⁱ NASA, *Our Sun by the Number*.

ⁱⁱ Wikipedia, *Betelgeuse*.

ⁱⁱⁱ *The Solar System: Composition of the Solar System*, & David Taylor, *The Life And Death Of Stars*, Northwestern University, 2012.

^{iv} NASA, *Our Sun In Depth*.

^v NASA, *Our Sun In Depth* (section «*Structure*»).

^{vi} David Taylor, *The Life And Death Of Stars*, Northwestern University, 2012.

^{vii} NASA, *Parker Solar Probe and the Curious Case of the Hot Corona*, July 27, 2018.

^{viii} *What can we learn from the color of a star?*, Cornell University.

^{ix} *Ejnar Hertzprung and Henry Norris Russell*, John Hopkins University & David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.

^x David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.

^{xi} David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.

^{xii} David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.

^{xiii} David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.