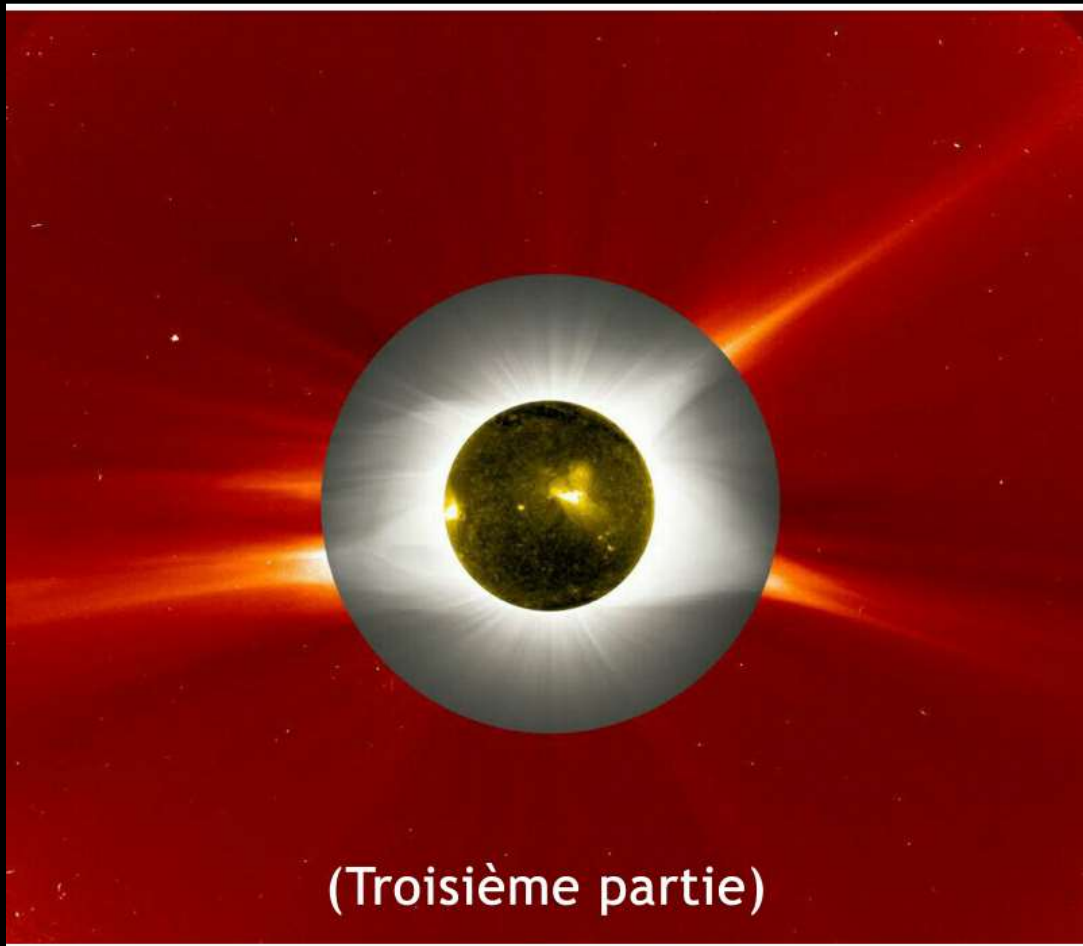


**VOYAGE
DANS
L'ESPACE**

Épisode

59

VIE ET MORT DU SOLEIL



(Troisième 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

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

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

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

Courriel: claude-lafleur1@videotron.ca

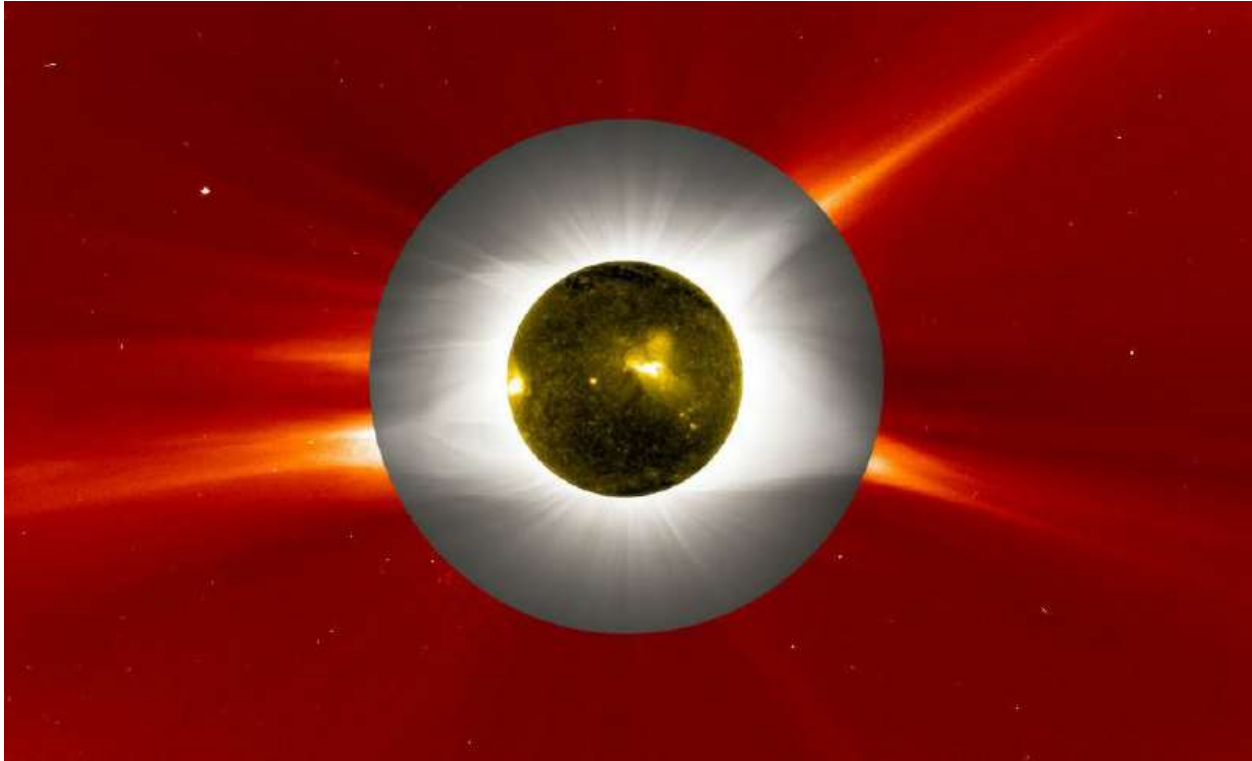
© Copyright, Claude Lafleur, 2021

ISBN 978-2-925106-19-7 (pdf)

ISBN 978-2-925106-20-3 (kindle)

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec, 2021

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Canada, 2021



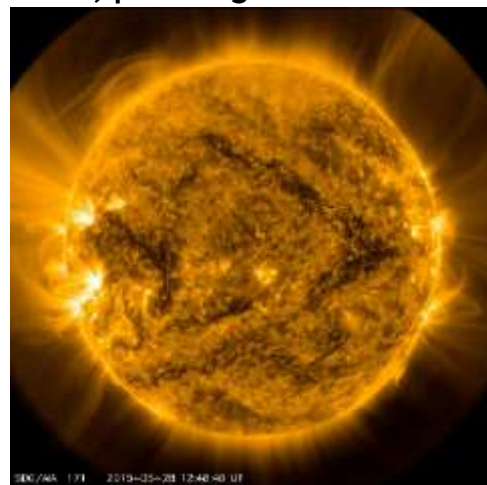
Dans sept milliards d'années environ, le Soleil va «explorer» pour se transformer en une géante rouge. Entre temps, il va vivre une série de transformations qui sera catastrophique pour nous.

Vie et mort du Soleil

Écoutez le balado *Vie et mort du Soleil* diffusé le 7 mars 2021.

Dans le deuxième épisode de *Notre Univers époustouflant*, nous avons vu qu'il y a différentes sortes d'étoiles et que celles-ci connaissent une existence qui dépend de leur masse. Curieusement, plus une étoile est massive, plus courte sera sa vie, et vice versa: plus petite est la masse d'une étoile, plus longue sera sa vie. Quant à notre Soleil, c'est une étoile de masse «moyenne»; certaines étoiles (très rares) sont jusqu'à mille fois plus massives, tandis que les plus petites, très abondantes, ont un dixième de la masse solaire.

En conséquence de sa masse, le Soleil vivra une dizaine de milliards d'années et il est présentement au beau milieu de sa vie. Mais dans environ cinq milliards d'années, il terminera ses jours... de la manière que nous allons décrire ici.



I – Naissance et vie du Soleil

Le Soleil est né il y a 4½ milliards d'années dans un nuage de gaz et de matière composé à 74% d'hydrogène, à 25% d'hélium et à 1% de d'autres éléments: oxygène, carbone, fer, etc.

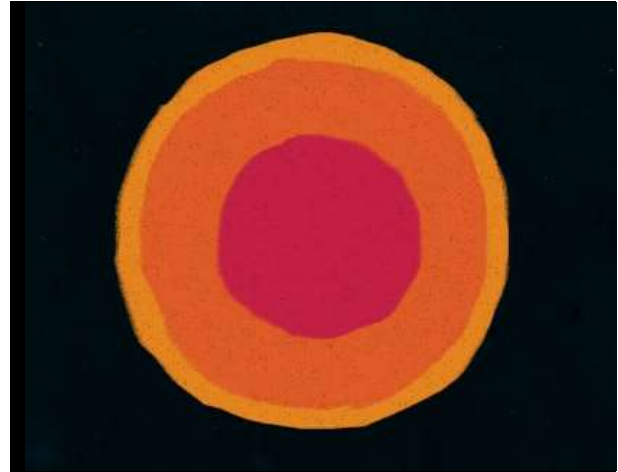
Depuis ce jour, il convertit son hydrogène en hélium. Les spécialistes estiment qu'il lui faudra encore 6½ milliards d'années avant qu'il n'épuise ces réserves. Pour eux, le Soleil vit actuellement en phase de *séquence principale*, celle durant laquelle toute étoile convertit son hydrogène en hélium, comme nous l'avons expliqué dans l'épisode précédent.

Étonnamment, si le Soleil transforme ses réserves d'hydrogène en hélium depuis maintenant 4½ milliards d'années, il n'a pourtant converti que 5% de ses réserves.

Au bout d'environ onze milliards d'années, il connaîtra une fin de vie tumultueuse, tragique et même abrupte. Il s'agira bien sûr d'une fin de vie catastrophique pour nous. Bizarrement, il explosera et se contractera *en même temps*!

Pour le moment, notre étoile est une boule de gaz en équilibre. On peut l'imaginer comme une sorte de ballon. La matière qui se trouve en périphérie et à sa surface exerce une énorme pression sur le cœur de l'étoile. De ce fait, l'immense boule de gaz a tendance à se contracter sur elle-même.

Cependant, cette immense pression a aussi pour effet d'«enflammer» l'hydrogène qui se convertit en hélium, ce qui dégage d'énormes quantités d'énergie. Cette production d'énergie, à son tour, crée une grande pression vers l'extérieur. Or cette pression compense *très exactement* celle exercée vers l'intérieur par le poids de la matière périphérique. Le So-



Le cœur du Soleil (en rouge) subit les énormes pressions des couches périphériques.

leil est ainsi un astre en *équilibre hydrostatique* – c'est-à-dire une immense boule de gaz en équilibre.

Équilibre hydrostatique

«En physique, on appelle équilibre hydrostatique l'état de repos atteint par un système lorsque la force d'attraction gravitationnelle subie par ce système est compensée par l'action des forces de pression d'un fluide (liquide ou gaz). L'équilibre hydrostatique est utilisé dans différents domaines tels que la statique des fluides, la météorologie, l'océanographie ou encore l'astrophysique.»⁽¹⁾

C'est ainsi qu'on observe dans l'espace que si on a une petite quantité de sable et de roche, celle-ci prendra une forme quelconque, celle d'un «caillou». Par contre, à partir d'une accumulation suffisante de matière, celle-

ci prendra naturellement la forme d'une sphère. C'est le cas de la Terre, de la Lune et de Cérès... mais pas des astres de cent kilomètres ou moins.

De même pour un amas de gaz et de poussière. Lorsque ce nuage se condense suffisamment – qu'il atteint une certaine densité «critique» –, il prend naturellement la forme d'une sphère. C'est le cas du Soleil, comme de Jupiter, Saturne, Uranus, etc.

(1) Wikipédia, *Équilibre hydrostatique*.

Ce bel équilibre entre pression extérieure et pression intérieure n'est pas une coïncidence magique puisque s'il y avait davantage de matière qui exerçait une pression plus forte sur le cœur de l'étoile, cela augmenterait la conversion de l'hydrogène en hélium. À son tour, cette conversion dégagerait davantage d'énergie, ce qui maintiendrait parfaitement l'équilibre hydrostatique. De même, si l'étoile était plus petite, une moins forte pression vers l'intérieur réduirait la quantité d'hydrogène converti en hélium ainsi que l'énergie dégagée.

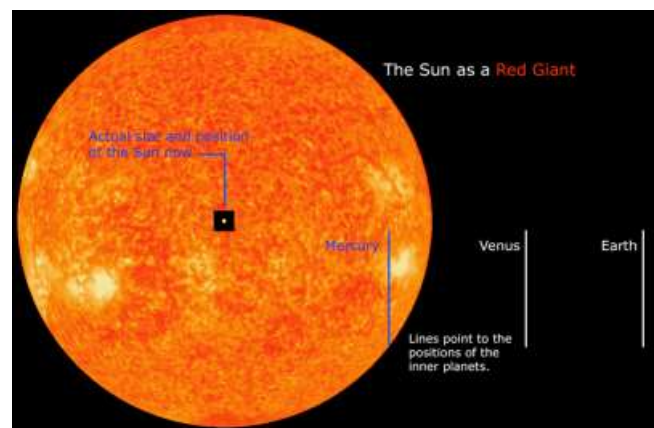
Voilà pourquoi 90% des étoiles qu'on observe sont en équilibre hydrostatique, qu'importe leur taille. Et voilà aussi pourquoi les étoiles plus grosses se consomment beaucoup plus rapidement que les petites étoiles; elles doivent convertir bien davantage d'hydrogène en hélium pour maintenir leur équilibre hydrostatique.

Le jour où notre Soleil deviendra une géante rouge

Par contre, vient un temps où l'étoile n'a plus assez d'hydrogène à convertir pour maintenir cet équilibre – moment qui survient bien avant que l'étoile n'ait épuisé toutes ses réserves d'hydrogène.

Cela surviendra dans quelques 4,8 milliards d'années dans le cas du Soleil.

Paradoxalement, alors que se rompt cet équilibre, notre étoile deviendra de plus en plus lumineuse et dégagera davantage d'énergie. Ainsi, dans six milliards d'années, il générera deux fois plus d'énergie qu'aujourd'hui, ce qui sera fatal pour nous puisque la température à la surface de la Terre atteindra les 300°C. Notre planète sera alors rôtie et toute vie comme toute l'atmosphère et l'eau auront disparu.



Dans 7 milliards d'années, le Soleil sera devenu une géante rouge dont la taille englobera Mercure et peut-être même Vénus.

Progressivement, le Soleil deviendra de plus en plus instable tandis que sa luminosité augmentera de façon prodigieuse pour atteindre, dans sept milliards d'années, un éclat 2300 fois supérieur à celui qu'il a actuellement.

La gigantesque quantité d'énergie que dégagera alors notre étoile fera en sorte que ses couches périphériques se détacheront du noyau. Elles se mettront alors à gonfler pour éventuellement englober l'orbite de Mercure et possiblement celle de Vénus, tandis que tout ce qui restera de la Terre (de la cendre) sera vaporisé.

Le Soleil sera alors devenu un astre d'un rouge vif éclatant, ce que les astronomes appellent une *géante rouge*.

Un époustouflant flash d'hélium

Mais les géantes rouges ont la vie courte. Le Soleil dégagera alors plus d'énergie en six millions d'années qu'il l'aura fait tout au long des onze milliards d'années de vie comme étoile stable, durant sa séquence principale.

Tandis que les couches périphériques s'éparpilleront dans l'espace, le cœur du Soleil se contractera de plus en plus sur lui-même pour devenir une naine blanche. La température et la pression au cœur de ce noyau seront dix fois plus élevées qu'elles le sont actuellement.

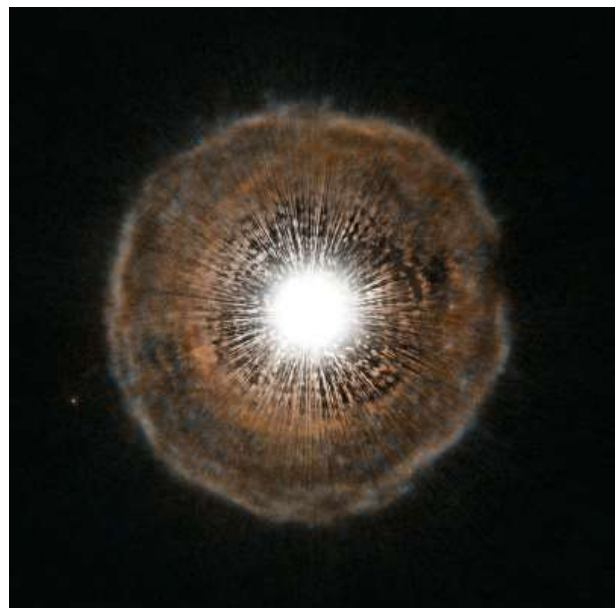
Ce sera alors le début de la fin pour notre Soleil. Car un jour, après environ 1,2 milliard d'années comme géante rouge, surviendra une prodigieuse explosion. Le noyau de l'étoile va soudainement éclater et se consumer, à la manière d'un fulgurant (et inimaginable) feu d'artifice.

Ce qui se passe à ce moment-là, c'est que la température à l'intérieur du noyau atteindra les 100 millions de degrés. C'est alors que l'hélium se transformera en carbone. Mais ce processus génère une telle quantité d'énergie que l'hélium se transformera en carbone en *quelques minutes* seulement! Eh oui, alors que le Soleil aura

mis dix milliards d'années pour transformer son hydrogène en hélium, ces réserves d'hélium seront transformées en carbone en quelques minutes.

Les astronomes appellent cet instant fulgurant de la fin de vie d'une étoile: le *flash de l'hélium*.

Et ce flash génèrera une telle quantité d'énergie que le Soleil brillera d'un éclat inimaginable, un éclat qui, durant quelques temps, surpassera celui de toutes les étoiles de notre galaxie.



Voici à quoi pourrait ressembler le Soleil dans sept milliards d'années: l'étoile dite la girafe (*Camelopardalis*) photographiée par le télescope Hubble.

II – Mettons les choses en perspective...

L'idée que l'humanité entière soit condamnée à disparaître d'ici cinq milliards d'années a de quoi nous plonger dans l'abîme. Un jour, eh oui, nous allons totalement disparaître; il ne restera absolument plus rien de nous!

Il faut cependant mettre les choses en perspective...

On sait que nos plus lointains ancêtres – les tous premiers humanoïdes – remontent à moins de *10 millions* d'années.

Quant à nos lointains ancêtres directs – les premiers *homo sapiens* –, leur présence date de moins de *un demi-million* d'années.

Enfin, les plus vieilles *civilisations* remontent à tout au plus *dix mille ans* seulement, tandis qu'on pourrait même considérer que notre *civilisation moderne* ne date que de *quelques siècles* tout au plus.

Or, les astronomes estiment que la Terre sera transformée en cendre par l'éclatement du Soleil dans près de 5 milliards d'années.

Autrement dit: si on considère que l'espèce humaine n'existe que depuis un demi-million d'années, on peut considérer qu'il nous reste encore *dix mille fois plus de temps* d'ici à ce que la Terre disparaisse! À l'échelle d'une vie humaine, c'est comme s'il ne s'était écoulé que 3½ jours dans la vie d'un individu... qui a encore cent ans à vivre!

Récapitulatif des «gros chiffres»

- Nos plus lointains ancêtres: ~10 000 000 ans
- *Homo sapiens* («nous»): ~500 000 ans
- Plus vieilles civilisations: ~10 000 ans
- Civilisation moderne: ~500 ans
- La Terre: encore 5 000 000 000 ans d'existence

Et si on considère plutôt que notre civilisation moderne remonte à cinq cents ans seulement, les cinq milliards d'années à venir représentent *dix millions de fois* plus de temps; l'équivalent des cinq premières *minutes* de vie pour quelqu'un destiné à vivre cent ans.

Bref, si nous sommes «condamnés» à disparaître un jour – dans cinq milliards d'années –, disons qu'il nous reste encore pas mal de temps!

Par ailleurs, si on considère l'extraordinaire évolution qu'a connue l'humanité en quelques centaines de milliers d'années seulement – sinon même ces derniers siècles –, que serons-nous devenus dans cent millions d'années, ou encore dans un milliard d'années?

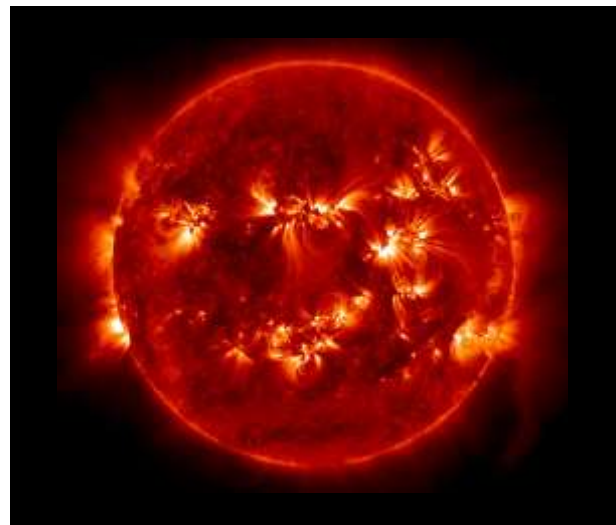
Quand on y pense, les dinosaures sont disparus après un règne de 170 millions d'années. En comparaison, nous disposons encore de trente fois plus de temps qu'eux. Et que serons-nous devenus dans... 170 millions d'années?

Il ne faut donc pas trop déprimer à l'idée qu'un jour, dans cinq milliards d'années, notre monde sera réduit en cendre par le Soleil en fin de vie.

L'ultime sort du Soleil: un trou noir?

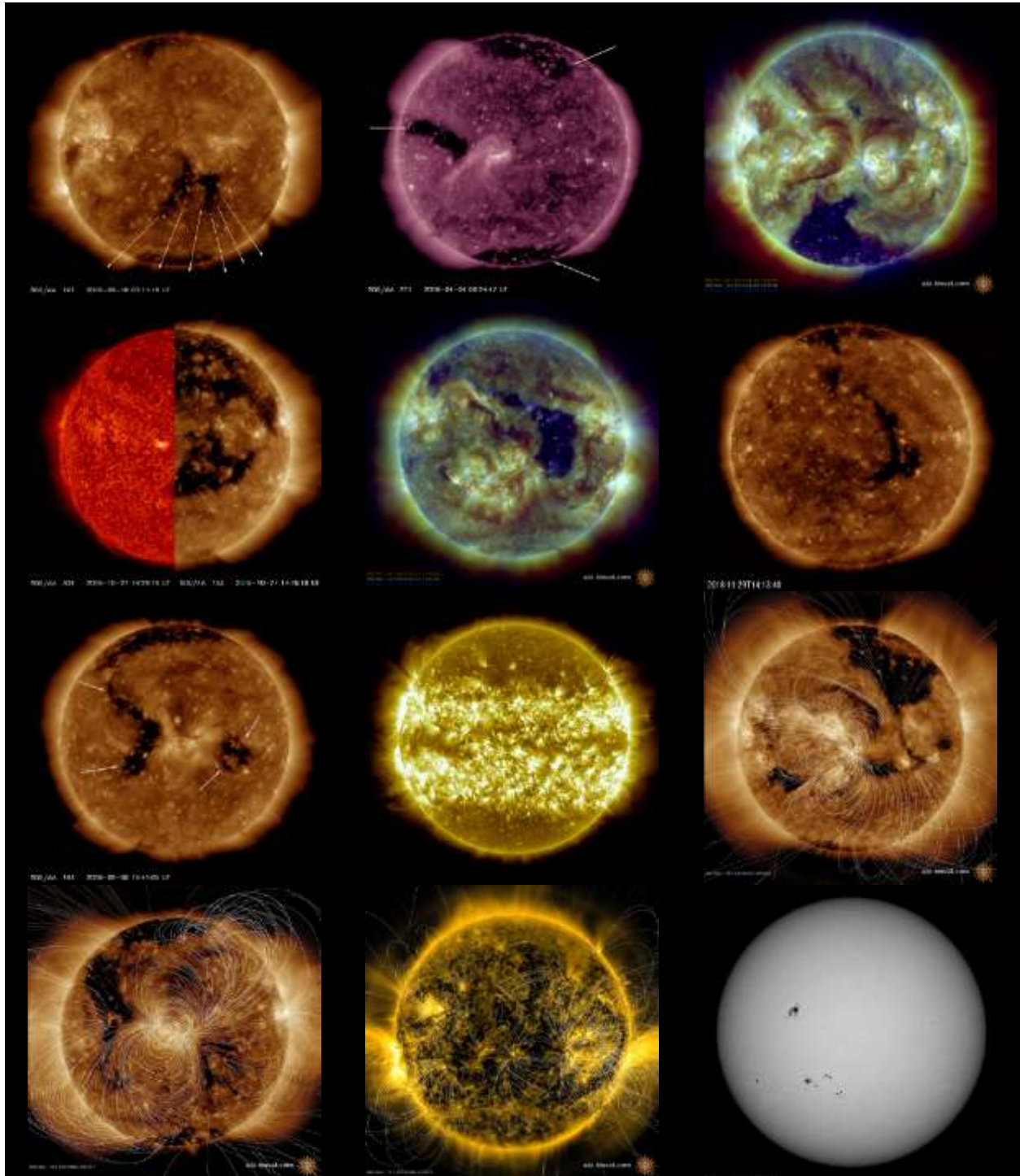
Mais au fait, que restera-t-il du Soleil après que celui-ci aura fait son flash de l'hélium? Connaîtra-t-il l'ultime sort réservé à certaines étoiles: c'est-à-dire devenir un trou noir?

C'est ce que nous verrons dans la suite de cet exposé.



Le Soleil dans toute sa splendeur

Notre étoile est avant tout une boule de gaz qu'on peut étudier depuis l'espace en le photographier à l'aide de différents filtres. Ci-après une série de photos prises par le satellite SDO (*Solar Dynamic Observatory*) de la NASA. Toujours le même astre... mais qui prend des aspects fort différents.



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 26</p> <p>ALEXEI LEONOV</p>  <p>Le cosmonaute aux sept vies</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 27</p> <p>PARLOUS DE... CAPSULES SPATIALES</p>  <p>Pourquoi certaines sont revenues à l'aveugle (sans pilote) ?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 28</p> <p>FRINGE, LA PARACHUTE RECHUÏTTE DE LA VOI... SUR NOUS</p>  <p>Quand on se fait... on se réveille... on s'endort... on se réveille... on s'endort...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 29</p> <p>LA GRANDE PEUR DE 1910</p>  <p>Quand le passé est garant de l'avenir</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 30</p> <p>PHOTONS D'ESPÉRATION... LES ASTÉROÏDES</p>  <p>Et petits astères... qu'il nous surprennent... tout le temps</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 31</p> <p>DES IDÉES PAS COMME LES AUTRES...</p>  <p>Quand on a des idées... on n'a pas peur... on se réveille... on s'endort...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 32</p> <p>PRELUDES À APOLLO 11</p>  <p>La grande Fête de la course à la Lune</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 33</p> <p>APOLLO 11 DANS LES CORRIDORS DE L'HISTOIRE</p>  <p>Et qu'on n'a pas souvent raconté...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 34</p> <p>NOTRE UNIVERS... BILAN, MYSTÈRES ET... (SPONTANÉANÉ)</p>  <p>À la frontière de nos connaissances... et même au-delà!</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 35</p> <p>NOTRE UNIVERS... BILAN, MYSTÈRES ET... (SPONTANÉANÉ)</p>  <p>À la frontière de nos connaissances... et même au-delà!</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 36</p> <p>LES SURPRISES DE L'ÉTÉ 2019</p>  <p>Des surprises pour les amateurs de l'espace</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 37</p> <p>POURQUOI MARS...</p>  <p>... nous obsède-t-elle autant ?</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 38</p> <p>OU EN SERONS-NOUS EN 2040 ?</p>  <p>Comment sera-t-elle l'habitation des hommes... au Qatar</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 39</p> <p>L'ASTRONOMIE PAR L'IMAGE</p>  <p>Avec un grand télescope spatial...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 40</p> <p>LA LUNE... CETTE INCONNUE</p>  <p>On croit tout savoir à son sujet... Mais non...</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 41</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGERS</p>  <p>1^{er} partie : le Grand Tour</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 42</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGERS</p>  <p>2^e partie : destination Jupiter et Saturne</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 43</p> <p>LA VOIE LACTÉE... MYSTÈRE DE L'UNIVERS</p>  <p>Le plus grand système de notre univers... à découvrir</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 44</p> <p>ET SI ÇA C'ÉTAIT PASÉ AUTREMENT...</p>  <p>Pourquoi... le monde à l'envers... (partie 1)</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 45</p> <p>ET SI ÇA C'ÉTAIT PASÉ AUTREMENT...</p>  <p>2^e partie : le monde à l'envers... (partie 2)</p>
<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 46</p> <p>LES MEILLEURES PLANÈTES INCROYABLES</p>  <p>Une diversité à n'en plus finir...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 47</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGERS</p>  <p>3^e partie : aux confins du système solaire</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 48</p> <p>LES GALAXIES... AUX FRONTIÈRES DE LA COSMOLOGIE</p>  <p>Comment se fait-il... qu'on nous envoie...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 49</p> <p>LE SYSTÈME SOLAIRE... N'EST PLUS CE QU'IL ÉTAIT</p>  <p>Prochaine partie... Notre univers spatialement...</p>	<p>VOYAGE DANS L'ESPACE Episode 50</p> <p>LE MÉTIER D'ASTRONAUTE</p>  <p>À la recherche de la... (partie 1)</p> <p>Claude Laffleur</p> <p>Chapitre 1 : Les multiples facettes de 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.

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.