

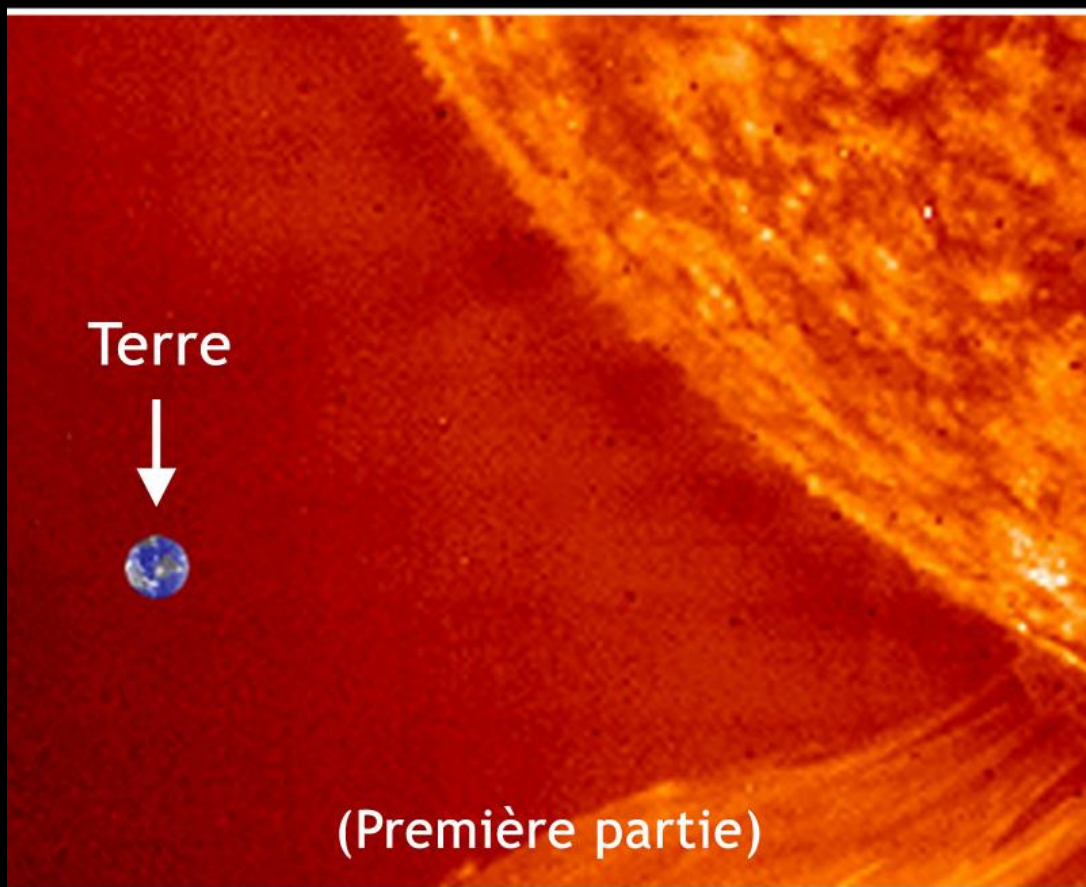
# VOYAGE DANS L'ESPACE

Épisode

35

---

NOTRE UNIVERS:  
BIZARRE, MYSTÉRIEX ET... ÉPOUSTOUFLANT!



À la frontière de nos connaissances...  
et même par-delà!

## Le balado et les fascicules

Depuis janvier 2018, Claude Lafleur, Mathieu Rancourt et Richard Massicotte 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. **Richard Massicotte** a été journaliste à la radio de Radio-Canada, notamment aux *Années lumière*.

L'équipe des fascicules:  
Rédaction: Claude Lafleur  
Couverture: Mathieu Rancourt  
Illustrations: NASA, David Taylor

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

© Copyright, Claude Lafleur, 2019

Balado: <https://soundcloud.com/voyage-danslespace/>  
Abonnement:  
<https://www.patreon.com/voyagedanslespace>  
Facebook: <https://www.facebook.com/voyagedanslespace/>

ISBN 978-2-923275-74-1 (pdf)  
ISBN 978-2-923275-75-8 (kindle)

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec, 2019

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Canada, 2019



Le Soleil et les neuf planètes du Système solaire, tels que connus autrefois.

## Au sommaire

Introduction: l'Univers n'est plus ce qu'il était

I – Des frontières artificielles

II – Planètes naines et ceintures d'objets célestes

III – Une étoile bien ordinaire, dit-on

IV – Le monde époustouflant des étoiles

V – Vie et mort de notre étoile

Conclusion: perspectives d'avenir

Avertissement: ce sujet n'a pas fait l'objet d'un enregistrement, il n'existe pas sous forme de balado de *Voyage dans l'espace*. Seul ce format fascicule existe.

# L'Univers n'est plus ce qu'il était

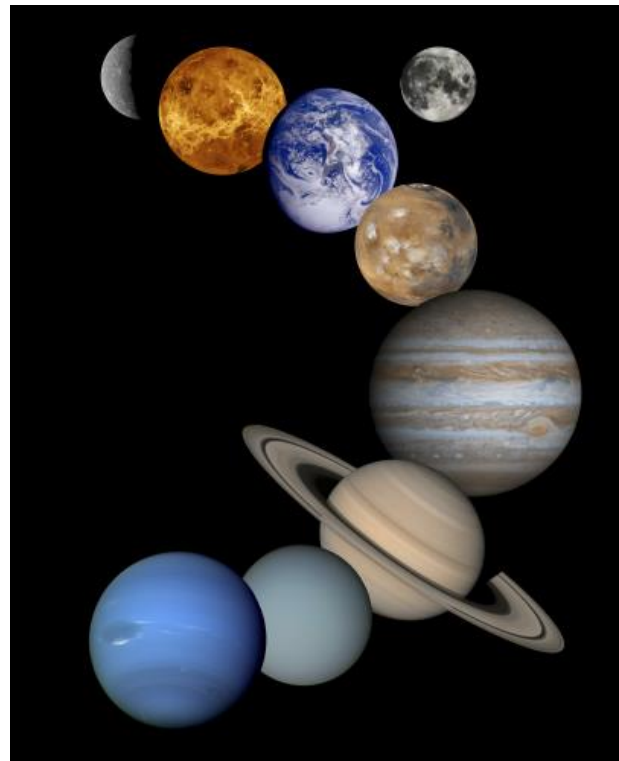
À la petite école, on nous a longtemps enseigné que la Terre faisait partie du Système solaire composé d'une étoile (le Soleil) et de neuf planètes, à savoir quatre petites planètes rocheuses (dont la Terre), quatre géantes gazeuses (comme Jupiter) et Pluton... au sujet de laquelle on ne connaissait presque rien. Certaines de ces planètes possèdent une ou plusieurs lunes; on dénombrait une trentaine de ces *satellites naturels* en 1970. Il y avait aussi des astéroïdes et des comètes, de minuscules astres auxquels on ne prêtait guère attention.

Notre Système solaire fait partie d'une galaxie, la Voie lactée, un amas de milliards d'étoiles dont on ignorait la forme et la structure. Il s'agit de l'une des milliards de galaxies qui constituent l'Univers. Voilà à peu près tout ce qu'on nous enseignait, n'est-ce pas?

Mais, voici que depuis ce temps, les choses ont bien changé... et se sont compliquées! L'Univers n'est plus aussi simple qu'on nous l'a enseigné. Ainsi, on a depuis réparti les planètes en trois catégories: les planètes rocheuses, les géantes gazeuses et les planètes naines, tandis qu'on a repéré une bonne centaine de lunes additionnelles. On sait aussi que les astéroïdes se comptent par dizaines de milliers et les comètes par millions, et que ce sont de petites planètes fascinantes à explorer.<sup>i</sup> On a aussi repéré la Ceinture de Kuiper et le Nuage de Oort, deux immenses régions qui s'étendent au-delà du Système solaire et qu'on commence à peine à explorer. Qui sait ce qu'on y trouvera un jour?

## Et voici maintenant: les exoplanètes!

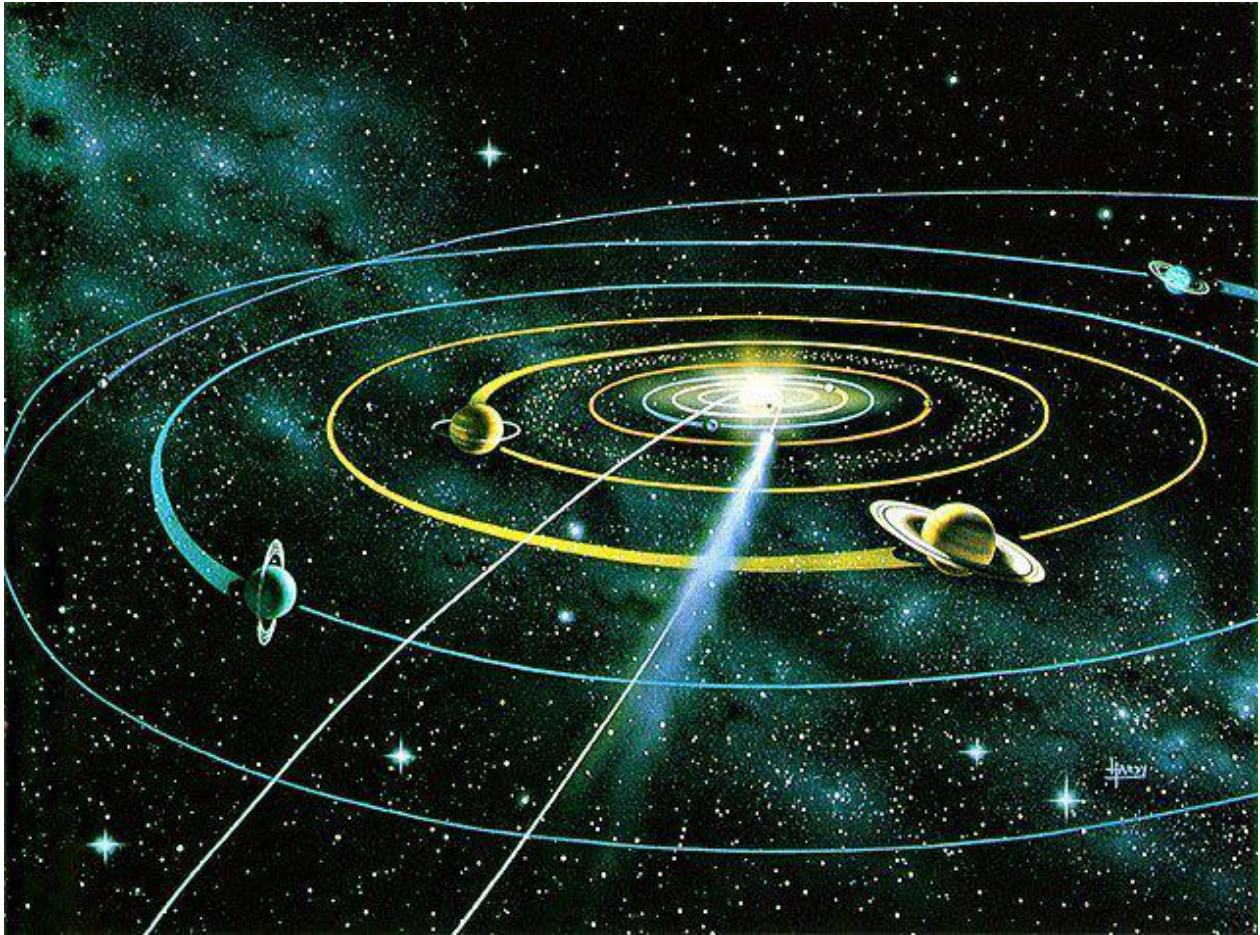
Entre temps, on a commencé à repérer des planètes hors du Système solaire, qui gravitent autour de d'autres étoiles et qu'on appelle des *planètes extrasolaires* ou *exoplanètes*. On a du coup découvert d'autres types de planètes qui n'existent pas dans notre Système solaire, dont des



Notre Système solaire: quatre planètes rocheuses (en haut), plus la Lune, et quatre géantes gazeuses.

Jupiter chaudes et des planètes océans.<sup>ii</sup>

On considérait jadis que le Soleil était une étoile de taille moyenne et assez représentative de l'ensemble des étoiles. On savait aussi qu'il y avait des étoiles de taille très différente, certaines cent fois plus grosses et d'autres dix fois plus petites. Mais on a depuis découvert une vaste gamme d'étoiles, certaines très étranges (étoiles à neutrons et pulsars), sans oublier les novæ et supernovæ. À ce



Une vision très «artistique» du Système solaire. Au premier plan, une comète fonce vers le Système solaire intérieur, où se trouve la Terre. Notez qu'en réalité, les distances entre les astres seraient infiniment plus grandes tandis que les planètes seraient infiniment plus petites qu'on le représente ici.

bestiaire s'ajoute désormais une kyrielle de naines blanches, brunes ou rouges, de sorte que notre Soleil apparaît de moins en moins comme l'exemple type des étoiles. Ce pourrait même être une étoile unique (ou presque) en son genre.

### **Nous, un modèle?**

On a aussi longtemps pensé que notre Système solaire devait servir de modèle aux autres systèmes planétaires, c'est-à-dire qu'on s'attendait à découvrir quantité de systèmes formés d'une étoile centrale autour de laquelle graviterait à proximité de petites planètes et à distance des géantes. Or, maintenant qu'on a repéré des milliers de systèmes planétaires, on

constate que le nôtre fait figure d'exception. En effet, la majorité des systèmes comprennent plus d'une étoile (parfois jusqu'à cinq), tandis que le modèle des planètes bien ordonnées apparaît rarissime. On n'a d'ailleurs pas encore trouvé un seul système semblable au nôtre – malgré les milliers qu'on connaît déjà –, ce qui nous amène à se demander: habiterions-nous un système planétaire unique en son genre? Peut-être bien...<sup>iii</sup>

### **Des espaces incroyablement vastes**

Finalement, non seulement l'Univers est-il constitué d'un nombre nettement plus élevé de galaxies qu'on le soupçonnait il n'y a pas si longtemps, mais on y

retrouve quantité d'objets et de phénomènes qui étonnent, dont les quasars, les sursauts gamma et, bien entendu, les fameux trous noirs, la matière indétectable qui intriguent tant, etc.

Autre particularité: les galaxies ne sont pas des îlots d'étoiles perdus dans "l'immensité des espaces infinis", mais elles forment de gigantesques structures et regroupements qui prennent la forme de longs filaments – des structures si gigantesques qu'on a peine à les imaginer.

Et autre surprise: malgré les espaces incroyablement vastes qui s'étendent normalement entre les galaxies, on assiste parfois à des collisions entre galaxies, collisions qui peuvent même impliquer trois ou quatre galaxies! Comment est-ce possible? Et ces collisions colossales ne ressemblent en rien à ce qu'on pourrait imaginer.

Bref, par rapport à ce que nous connaissons il y a quelques décennies à peine, on réalise à présent que nous vivons dans un Univers nettement plus bizarre, mystérieux et époustouflant qu'auraient pu l'imaginer même les auteurs de science-fiction les plus débordant d'imagination.

Et c'est cet Univers époustouflant que nous allons explorer.

## Mille, million, milliard

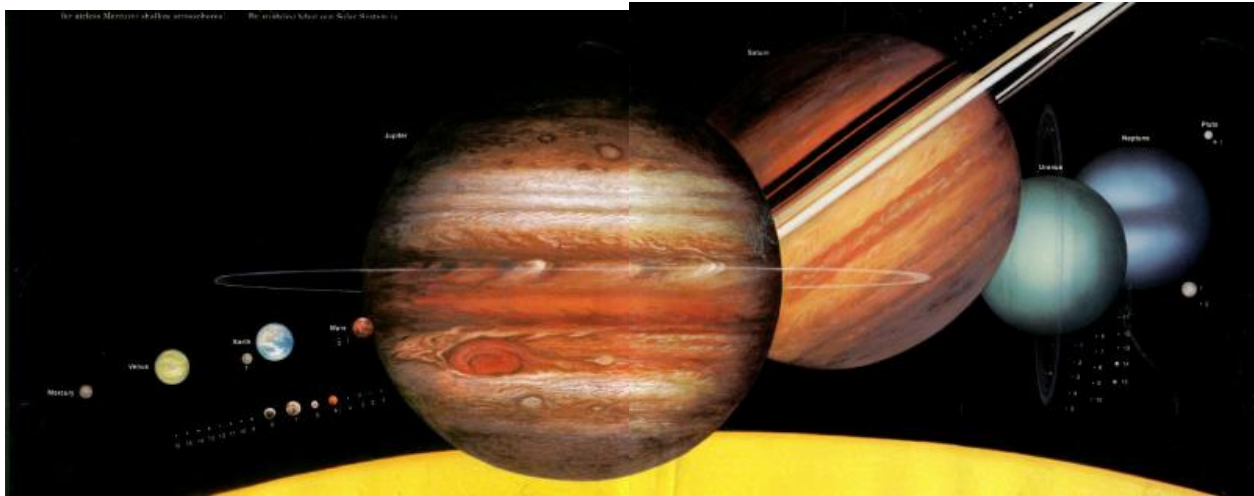
Dans les pages qui suivent, nous allons fréquemment parler de «gros nombres»: de mille, de million et de milliard (d'étoiles, d'années-lumière, etc.). Or, il n'est pas facile de se représenter la différence qu'impliquent ces nombres.

Évidemment, on sait qu'un million, c'est mille fois plus grand que mille et qu'un milliard, c'est mille millions. Mais qu'est-ce que de tels nombres représentent au juste?

Pour réaliser réellement la différence entre mille, million et milliard, voici un truc. Retenez bien ceci:

- mille secondes correspondent à *un quart d'heure*;
- un million de secondes correspondent à *deux semaines*;
- et un milliard de secondes correspondent à *32 ans*.

Comme quoi, il y a une *énorme* différence entre million et milliard, ce qu'on ne perçoit pas généralement.



Taille des astres du Système solaire (de g. à d.): Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et Pluton, par rapport à la taille du Soleil (au bas).<sup>iv</sup>

# I – Des frontières artificielles

Au début, tout était simple, notre Système solaire était composé de trois types d'astres: il y avait les petites planètes (diamètre compris entre 5 et 13 mille kilomètres), les planètes géantes (plus de 50 000 km) et le Soleil (plus d'un million de kilomètres). Il y avait aussi les satellites naturels (lunes) qui, indépendamment de leur taille, gravitent autour des planètes. Et il y avait enfin un certain nombre d'astéroïdes et de comètes qui, pour la plupart, mesurent moins de cent kilomètres, sinon même quelques kilomètres tout au plus.

On pouvait donc facilement distinguer les astres d'après leur taille, celle-ci faisant même une différence fondamentale. En effet, les petites planètes sont des astres rocheux et sphériques, tandis que les géantes sont essentiellement des boules de gaz. Quant au Soleil, sa taille fait en sorte qu'il transforme la matière dont il est fait en énergie (voir [partie III](#)). C'est par conséquent une étoile, et non pas une planète dont chacune reflète l'énergie en provenance du Soleil. Quant aux astres de petite taille, ce sont généralement des rochers aux formes quelconques.<sup>v</sup> La taille – et par conséquent la masse – conditionne tout le reste. C'était simple.

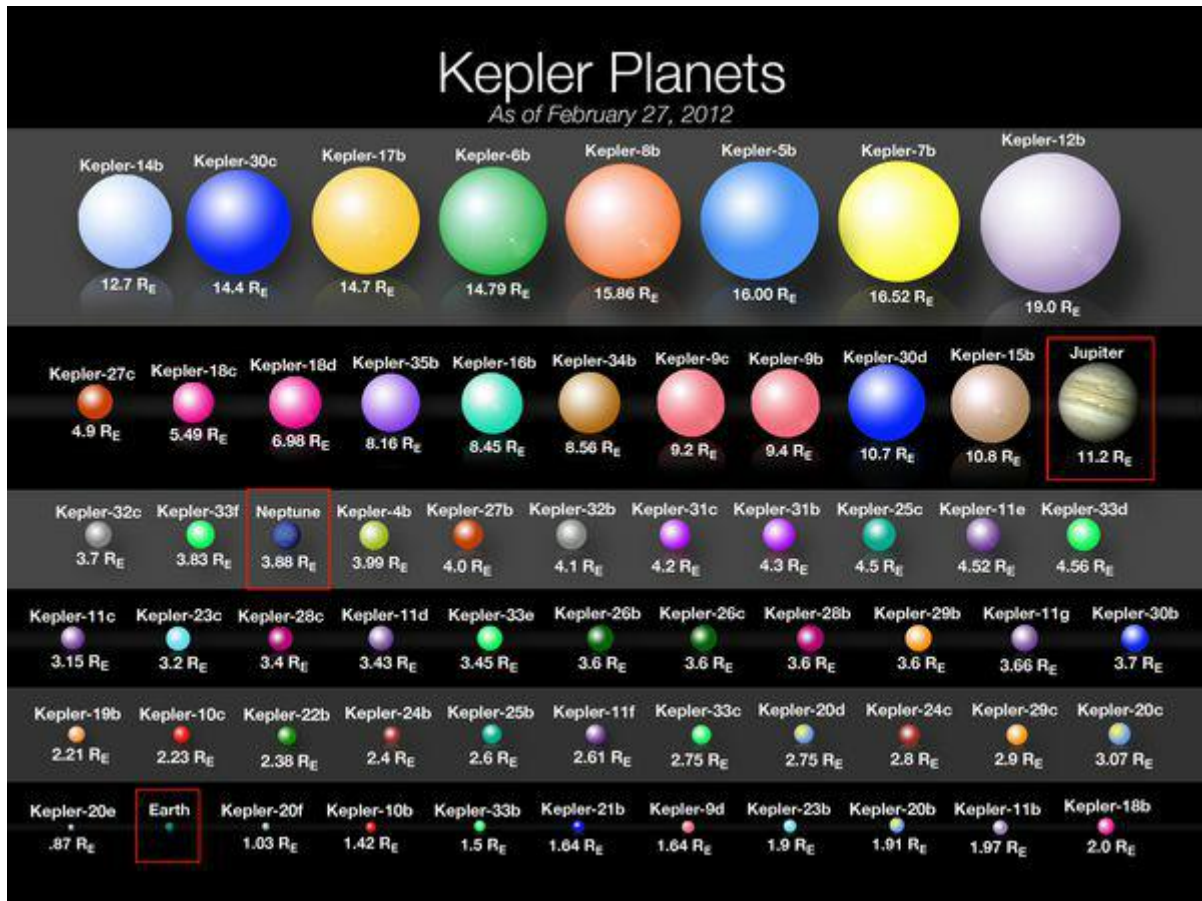
Mais voici que plus on explore et découvre de nouveaux astres, plus on se bute à des objets de taille intermédiaire. Ainsi, on découvre des exoplanètes dont la taille se situe entre la Terre (13 000 km) et Neptune (50 000 km), des astres qui, dans certains cas, sont trop gros pour être rocheux mais pas assez pour être gazeux. De même, on découvre des astres qui se situent quelque part entre Jupiter (140 000

km) et le Soleil (1 400 000 km), c'est-à-dire entre planète et étoile!

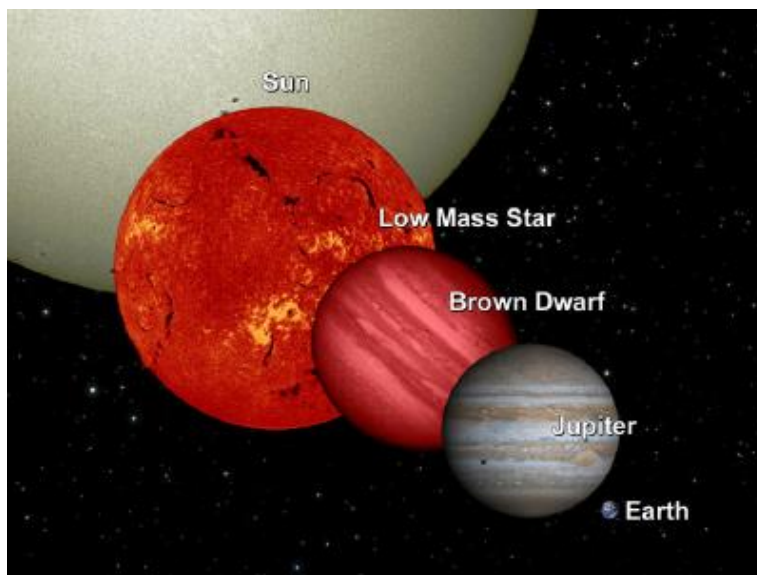
## Principaux astres du Système solaire

|                         | Diamètre     | Masse          |
|-------------------------|--------------|----------------|
| <b>Petites planètes</b> |              |                |
| • Mercure               | 4 879 km     | 0,055 Terre    |
| • Vénus                 | 12 104 km    | 0,815 Terre    |
| • Terre                 | 12 742 km    | 1 Terre        |
| • Mars                  | 6 779 km     | 0,107 Terre    |
| <b>Géantes gazeuses</b> |              |                |
| • Jupiter               | 139 822 km   | 318 Terres     |
| • Saturne               | 116 464 km   | 95 Terres      |
| • Uranus                | 51 118 km    | 14½ Terres     |
| • Neptune               | 49 244 km    | 17 Terres      |
| Pluton                  | 2 370 km     | 0,002 Terre    |
| Le Soleil               | 1 392 684 km | 333 000 Terres |
| La Lune                 | 3 475 km     | 0,0123 Terre   |

Incidentement, Jupiter étant composé de 90% d'hydrogène et de 10% d'hélium, elle ressemble bien davantage au Soleil qu'à une planète comme la Terre.<sup>vi</sup>



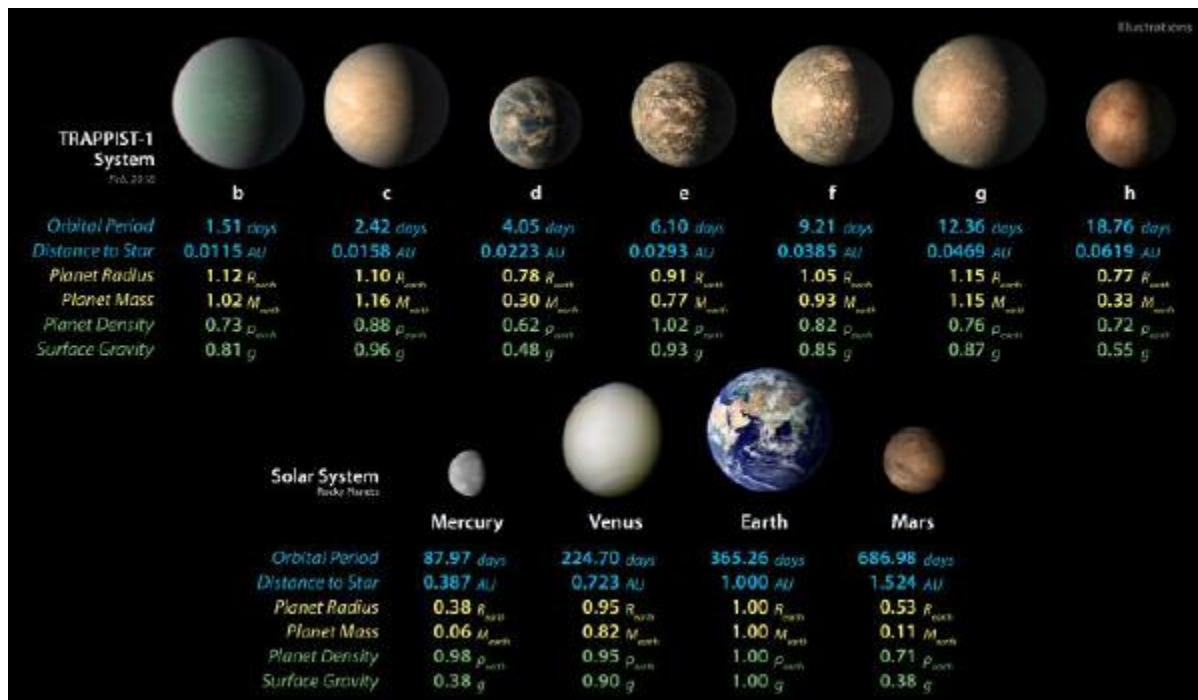
Exemple de planètes repérées par le télescope Kepler (d'où leur appellation); leur taille est indiquée par rapport à celle de la Terre ( $R_E$  = rayon terrestre). Sur cet étalage, on observe quelques planètes de la taille de Jupiter ( $11 R_E$ ) et de Neptune ( $4 R_E$ ) sur la deuxième ligne, et quelques planètes de la taille de la Terre (ligne du bas à gauche). Cependant, *toutes les autres exoplanètes* n'ont pas leur équivalent dans notre Système solaire. Remarquez en particulier les astres de la ligne du haut, dont la taille (de 14 à  $19 R_E$ ) les place à la limite entre planète et étoile.



Exemple d'astres se situant entre Jupiter et le Soleil: des naines brunes, qui ne sont pas tout à fait des étoiles, et des «étoiles de faible masse». On aurait également pu ajouter d'autres astres intermédiaires, en particulier entre les «étoiles de faible masse» et notre Soleil. Comme quoi, il y a encore beaucoup d'objets étranges à découvrir.

## Quelques exoplanètes intéressantes

|                    | Taille             | Masse                       | Remarque   |
|--------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| 51 Pegasi b        | 1,5 à 2 Jupiter    | ½ Jupiter                   | Première planète extrasolaire découverte, en 1995, par Michel Mayor et Didier Queloz.  |
| Jupiters chauds    | Jupiter et plus    | Égal ou supérieur à Jupiter | Type de planètes découvert en grand nombre et qui orbitent beaucoup plus proche de leur étoile que Mercure du Soleil.  |
| 55 Cancri e        | 2 Terre            | 8,6 Terres                  | Plus proche planète de son étoile connue à ce jour.  |
| Kepler-186 f       | 1,1 Terre          | ?                           | Première exoplanète de taille terrestre située dans la zone habitable de son étoile à avoir été découverte.  |
| Proxima b          | ?                  | 1,3 Terre                   | Plus proche exoplanète de nous. Se trouverait en zone habitable de son étoile.   |
| Système TRAPPIST-1 | 7 planètes «Terre» | 7 planètes «Terre»          | Voir l'illustration ci-dessous.  |
| Planètes océans    | ± 1½ Terre?        | ±2 Terres?                  | Type de planètes qui n'existe pas dans notre Système solaire. De taille intermédiaire (entre la Terre et Uranus), ces planètes sont couvertes d'océans mesurant plusieurs centaines de kilomètres d'épaisseur. |

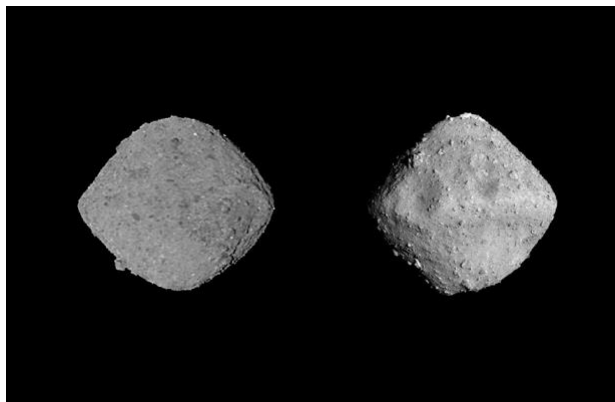


Le système planétaire TRAPPIST-1, l'un des plus intéressants qu'on ait repéré à ce jour. Il comporte sept planètes de la taille de nos planètes rocheuses (illustrées en-dessous). Il s'agit du système planétaire le plus semblable au nôtre. Cependant, ces planètes orbitent autour d'une étoile neuf fois plus petite et douze fois moins massive que le Soleil. Par conséquent, les conditions de vie dans ce système diffèrent énormément de ce qu'on connaît ici.

C'est dire que la frontière entre planètes rocheuses et gazeuses s'estompe, de même que la distinction entre planète et étoile. Voilà qui donne lieu à une question brûlante: à partir de quand a-t-on affaire à une étoile? Jupiter ne serait-elle pas une quasi-étoile ou une étoile ratée? Et si cette planète avait été un peu plus massive (de combien?), notre Système solaire aurait alors compté deux étoiles – comme c'est le cas pour la majorité des systèmes planétaires. Que serait-on devenu, nous sur Terre, «coincés» entre deux étoiles?

De même, on observe la disparition des frontières de taille entre les petits astres (lunes et astéroïdes): à partir de quelle taille et de quelle masse un astre prend-il la forme d'une sphère? Et entre les cailloux de forme quelconque et les astres sphériques, existe-t-il des formes intermédiaires?

Ce pourrait être le cas, si on en juge par l'exemple des deux astéroïdes de taille moyenne – Ryugu et Bennu (980 et 500 km) – qu'on étudie de près actuellement.<sup>vii</sup> Ces deux astéroïdes ont en effet la curieuse forme de diamant:

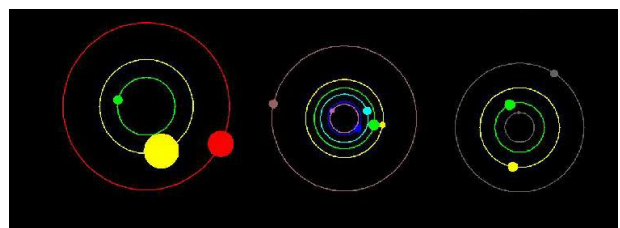


Les astéroïdes Bennu et Ryugu, qui gravitent autour du Soleil pas très loin de nous, se ressemblent terriblement. Ils donnent l'impression d'être des toupies qui tourneraient sur elles-mêmes: voir à cette fin le clip vidéo de [Bennu](#) et de [Ryugu](#).

## Habitons-nous dans un Système solaire unique en son genre?

La question de la frontière entre planète et étoile trouble de plus en plus les spécialistes, tant la situation suscite des discussions. C'est du moins ce qu'on découvre dans bon nombre de systèmes planétaires.

Dans «l'ancien temps», c'était simple: une étoile comme le Soleil trônait au centre d'un système bien ordonné. Mais voilà qu'on repère de plus en plus des systèmes à deux ou trois étoiles (ou plus encore). Parfois, on a affaire à un système où deux étoiles occupent le centre, gravitant assez proche l'une de l'autre, et autour desquelles circule un cortège de planètes. C'est comme si on remplaçait notre Soleil par deux étoiles, tout simplement. Dans d'autres cas, une petite étoile gravite à bonne distance d'une étoile centrale, parmi d'autres planètes. Comme si on remplaçait Jupiter ou Saturne par une petite étoile, tout le reste demeurant tel quel. Dans d'autres cas, enfin, on a affaire à deux ou trois étoiles, possédant chacune leur cortège de planètes; comme si Jupiter était une étoile avec ses propres planètes. Et bien sûr, on peut imaginer tous les cas de figure possibles.



Exemple de systèmes à plusieurs étoiles.

Un bel exemple nous est offert par Alpha du Centaure, le système stellaire le plus proche de nous (à 4,37 années-lumière). Au centre du système se trouvent deux étoiles (Alpha du Centaure A et Alpha du Centaure B) qui gravitent l'une autour

de l'autre à quelques milliards de kilomètres de distance. Puis il y a une troisième étoile, Alpha du Centaure C, qui gravite 430 fois plus loin des deux autres.<sup>viii</sup> Cette étoile est également appelée Proxima du Centaure puisqu'il s'agit de la plus proche de nous (à 4,24 années-lumière). En outre, on a découvert au moins une planète autour de cette étoile, tandis qu'on soupçonne la présence de deux autres autour de l'étoile B. (Ce système à trois étoiles compte probablement bien davantage de planètes... autour des étoiles A, B et C.)



Anatomie du système Alpha du Centaure; au centre, deux étoiles gravitent l'une autour de l'autre, tandis qu'à distance (nettement plus grande qu'indiquée ici) orbite une troisième étoile.



Une planète autour d'Alpha du Centaure B?

## L'année-lumière et les distances cosmiques

L'année-lumière est l'unité de mesure des distances dans l'Univers, l'équivalent du kilomètre dans nos vies de tous les jours.

Il s'agit de la distance parcourue durant une année par un photon se déplaçant à la vitesse de la lumière (soit à 299 792 kilomètres à la seconde), c'est-à-dire 9 460 528 400 000 kilomètres ou, pour simplifier les choses: 10 mille milliards de kilomètres.

C'est ainsi que le système stellaire Alpha du Centaure se trouve donc à 41 342 500 000 000 km, mais il est plus commode de dire qu'il est à 4,37 années-lumière.

Si on pouvait propulser un vaisseau spatial à la vitesse de 100 000 km/h – ce que nous ne sommes pas encore capable de faire (mais ça viendra) – il nous faudrait 4,7 millions d'années pour parvenir jusqu'à Alpha du Centaure. Or, à cette vitesse, il ne nous faudrait que 3½ heures pour atteindre la Lune et soixante jours pour parvenir au Soleil. C'est dire les distances «astronomiques» qui nous séparent des étoiles, même les plus proches.

Enfin, la question que se posent les spécialistes: quand cesse-t-on de considérer un astre d'une certaine taille comme une planète pour plutôt l'assimiler à une petite étoile? Autrefois, la réponse était simple: les planètes sont nettement plus petites que les étoiles et elles gravitent autour d'elles. Quant aux satellites naturels, il s'agissait d'astres plus petits qu'une planète et qui, par conséquent, gravitent autour d'elles. C'était simple.

Mais voilà que ces distinctions disparaissent puisqu'on découvre de petites étoiles gravitant autour de grosses étoiles à la manière de planètes (cas d'Alpha du Centaure) tandis que certains satellites naturels sont plus gros que certaines petites planètes. C'est notamment le cas de notre Lune, qui est plus grosse que Pluton

(3500 c. 2400 km), ou encore de Ganyède, un satellite de Jupiter, par rapport à Mercure (5300 c. 4900 km).

Et on n'a pas fini de découvrir des astres qui se situent aux frontières qu'on avait si commodément établies autrefois.

## II – Planètes naines et ceintures d'objets célestes

On rapporte souvent que Pluton n'est plus une planète puisqu'elle a été déclassée en 2006. Vrai ou faux?

Faux! Faux, puisque Pluton *est toujours une planète* car, par définition, une planète est un astre d'une certaine taille qui gravite autour d'une étoile. Or, Pluton n'a jamais cessé d'orbiter le Soleil – et n'a pas perdu sa taille non plus – depuis 2006!

Ce qui s'est passé, c'est que lors de l'assemblée générale de l'Union astronomique internationale de 2006 – l'instance suprême en astronomie –, on a créé une nouvelle catégorie de planètes: les *planètes naines*. Cette catégorie est devenue

nécessaire pour tenir compte de la découverte de nouvelles petites planètes. Autrement, on aurait dû considérer que le Système solaire compte désormais treize planètes, et non plus les neuf qui nous sont familières. (Et ce nombre aurait été appelé à augmenter régulièrement.)

C'est pourquoi on considère à présent que le Système solaire compte huit planètes principales, auxquelles s'ajoute une série de planètes naines. Pour le moment, l'UAI reconnaît cinq planètes naines, mais d'autres s'ajouteront éventuellement:

### Les cinq planètes naines reconnues

|          | Taille   | Localisation   |
|----------|----------|--|
| Pluton   | 2 370 km | Gravite par-delà l'orbite d'Uranus, au début de la Ceinture de Kuiper. |
| Éris     | 2 326 km | Gravite sur une orbite au-delà de Neptune.                             |
| Hauméa   | ±2000 km | Gravite au-delà de l'orbite de Pluton, dans la Ceinture de Kuiper.     |
| Makémaké | 1 430 km | Gravite par-delà l'orbite de Pluton, dans la Ceinture de Kuiper.       |
| Cérès    | 952 km   | Gravite entre Mars et Jupiter, dans la Ceinture d'astéroïdes.          |



Taille et apparence de quatre des cinq planètes naines, en comparaison avec la Lune et la Terre.

Selon l'UAI, une planète est dite naine lorsque sa masse suffit à lui donner une forme sphérique mais dont le champ de gravité n'est pas assez fort pour attirer toute la matière qui traîne autour. Autrement dit, une planète comme la Terre a depuis longtemps «fait le ménage» autour d'elle en absorbant quasiment toute la poussière ou les gaz qu'il y avait autrefois. Dans le cas de Pluton, de Cérès et des autres planètes naines, les astronomes considèrent que ce «nettoyage» n'a pas eu lieu parce que ces astres ne possèdent pas la force gravitationnelle nécessaire.

### Qu'est-ce au juste qu'une planète?

Jadis, la définition de planète était simple: il s'agissait d'un astre de quelques milliers de kilomètres de diamètre qui gravite autour d'une étoile. Les astres de moins d'un millier de kilomètres étaient classés comme des astéroïdes.

Mais voilà qu'avec la création de la catégorie des planètes naines, l'Union astronomique internationale a décrété qu'une planète est désormais un corps céleste qui:

1. est en orbite autour du *Soleil*,
2. a une masse suffisante pour prendre une forme plus ou moins sphérique, mais insuffisante pour générer la fusion thermonucléaire (dans ce cas, ce serait une étoile), et
3. a nettoyé le voisinage de son orbite.

Notons que cette définition ne s'applique qu'aux planètes du Système solaire et non pas aux exoplanètes (pour lesquelles on développe d'autres définitions).

Peut-être aurez-vous remarqué dans la liste des cinq planètes naines (page précédente) que celles-ci se trouvent soit dans la Ceinture d'astéroïdes (Cérès) ou dans la Ceinture de Kuiper?

La Ceinture d'astéroïdes se situe entre l'orbite de Mars et de Jupiter et on la connaît depuis plus de 150 ans. Il s'agit d'une vaste région où se trouvent des milliers d'astéroïdes, des rochers (souvent de moins de cent kilomètres) qui gravitent autour du Soleil (comme les planètes) mais qui sont de forme quelconque (non sphérique).<sup>ix</sup>

Le premier astéroïde a été repéré en 1801; il s'agit justement de Cérès qu'on a longtemps considéré comme une planète à part entière. Toutefois, à partir de 1845, on s'est mis à découvrir des dizaines puis des centaines d'astéroïdes, dont un grand nombre circulant entre Mars et Jupiter. Voilà pourquoi on parle d'une «ceinture d'astéroïdes». On retrouve également des astéroïdes un peu partout à travers le Système solaire, mais pas en aussi grande concentration que dans la Ceinture d'astéroïdes.



Cérès a longuement été auscultée par la sonde Dawn, qui a pris des milliers de photos de l'astre, dont celle-ci. La surface de Cérès semble composée d'un mélange de glace d'eau et de divers minéraux, dont des carbonates et de l'argile.

Cérès est à la fois le plus gros et le plus massif de tous les astéroïdes – et de loin – puisqu'à lui seul, il compte pour le tiers de la masse totale de tous les astéroïdes

qui peuplent la Ceinture d'astéroïdes. Alors qu'au début des années 1800, on considérait Cérès comme une planète, on s'est ensuite mis à le désigner comme le plus gros des astéroïdes... jusqu'à ce qu'en 2006, on le range dans la catégorie des planètes naines.

Les astéroïdes pourraient être les débris d'une petite planète qui aurait jadis été pulvérisée lors d'une collision, ou encore la matière d'une planète qui ne s'est jamais formée – voilà un mystère qui reste à résoudre. Cependant, si on rassemblait tous les astéroïdes en un seul astre, on obtiendrait une planète qui ne mesurerait que 1500 km (donc de la taille de Makémaké) et non pas une planète de taille rocheuse.

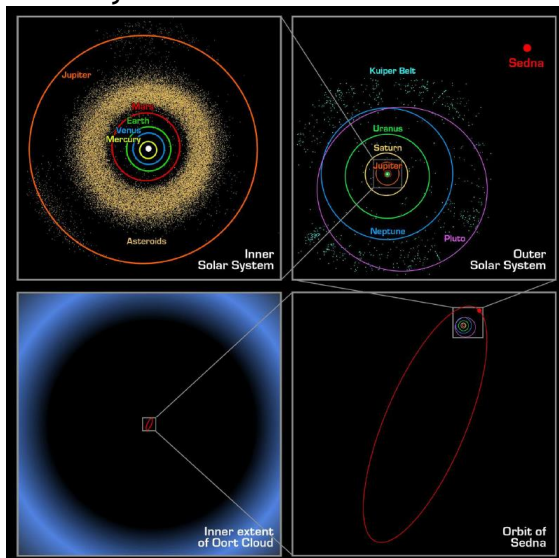
Quant aux autres planètes naines, elles ont été découvertes beaucoup plus récemment: Pluton en 1930 et Éris, Makémaké et Hauméa dans les années 2000.

Ces astres gravitent dans ce qu'on appelle la Ceinture de Kuiper, du nom de l'astronome néerlandais Gérard Kuiper qui a postulé l'existence d'une ceinture au-delà de l'orbite de Neptune. Il s'agit d'une région qui, comme la Ceinture d'astéroïdes, est peuplée des restes de la formation du Système solaire. Cette ceinture

est toutefois vingt fois plus étendue que la Ceinture d'astéroïdes, mais elle est si distante de nous qu'on commence à peine à l'explorer et à y déceler des astres. Si les astéroïdes de la Ceinture d'astéroïdes sont avant tout des corps rocheux, les astres de la Ceinture de Kuiper semblent plutôt faits de méthane, d'ammoniac ou d'eau gelés – donc des objets totalement différents de ce qu'on connaît. Ils sont par conséquent très intéressants à étudier.

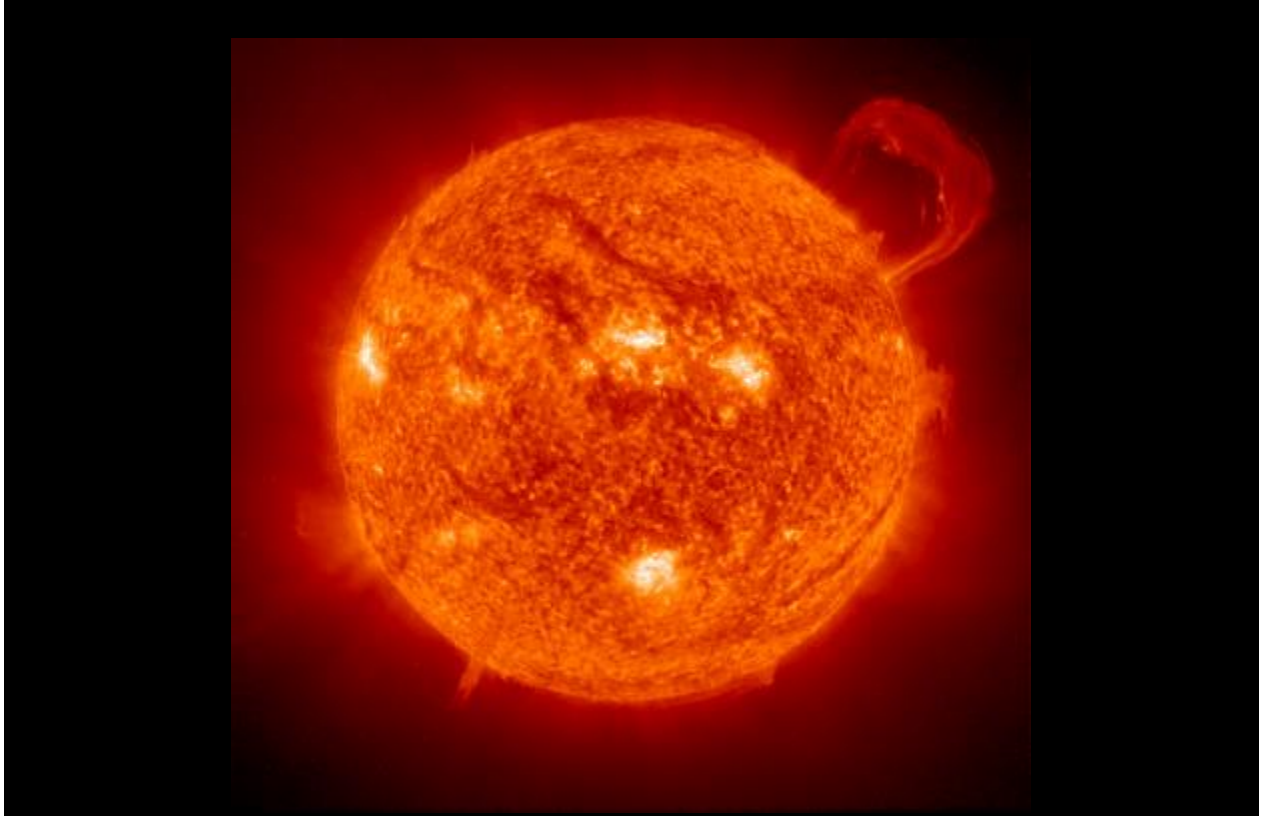
En outre, ce serait de cette région du Système solaire d'où proviendraient les comètes qui nous visitent à tous les deux cents ans ou moins (dont la célèbre comète de Halley, qui passe dans nos parages à tous les 76 ans). On espère un jour y repérer des comètes immaculées, qui n'ont donc jamais été transformées à la suite de passages près du Soleil.

Et par-delà la Ceinture de Kuiper existerait le Nuage d'Oort, une zone encore théorique mais qui serait mille fois plus distante de nous que la Ceinture de Kuiper, donc hors de notre portée. On imagine que cette zone contiendrait des millions de comètes qui, du fait de leur grand éloignement, nous visitent que très rarement. Qu'y trouvera-t-on? On le saura probablement dans... un siècle ou deux!



<= «Zoom out» sur le Système solaire. En haut à gauche, le Système solaire interne, délimité par la Ceinture d'astéroïdes. À droite, le domaine des planètes géantes, délimité par la Ceinture de Kuiper. En bas à gauche, le Nuage de Oort. (Sedna, dont il est question dans cette illustration, est un astre d'un millier de kilomètres qui circule sur une très longue orbite elliptique. Il s'agit d'un candidat au statut de planète naine.)

Tout ça pour dire que notre Système solaire s'est énormément complexifié depuis la tendre époque de la petite école... et que notre compréhension et notre exploration de celui-ci sont loin d'être achevées.

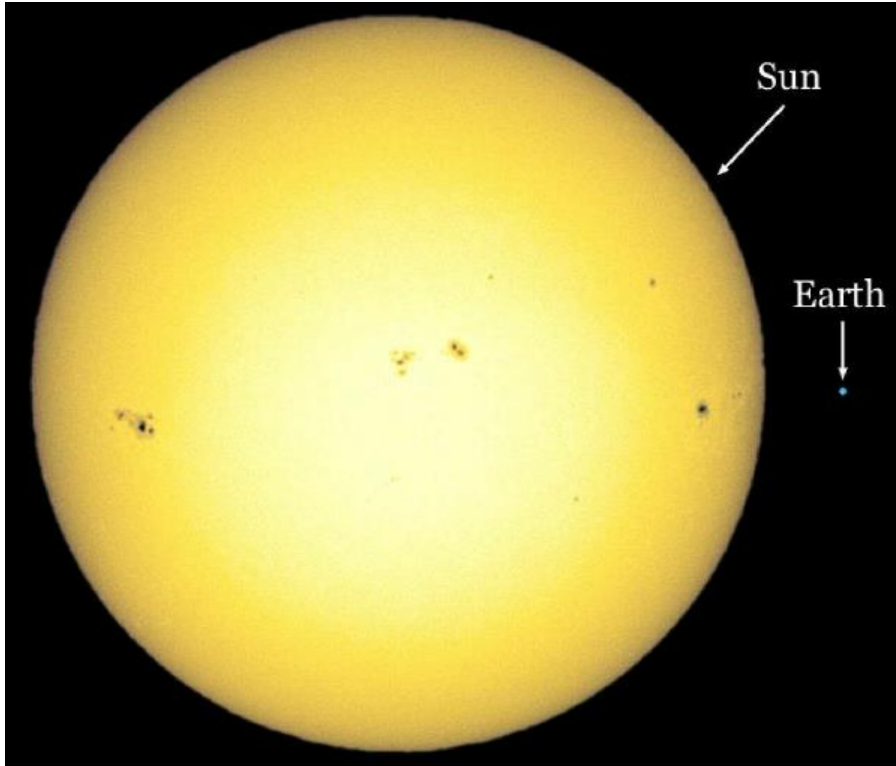


Le Soleil dans toute sa splendeur. Sur cette photo, on observe nombre de taches solaires qui crachent d'immenses jets de matière. Cette photo fait aussi voir l'atmosphère formidablement chaude (2 millions de degrés) dans laquelle baigne notre étoile. Le Soleil mesure 4 370 000 km de circonférence; en 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.<sup>x</sup>

### III – Une étoile bien ordinaire, dit-on

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

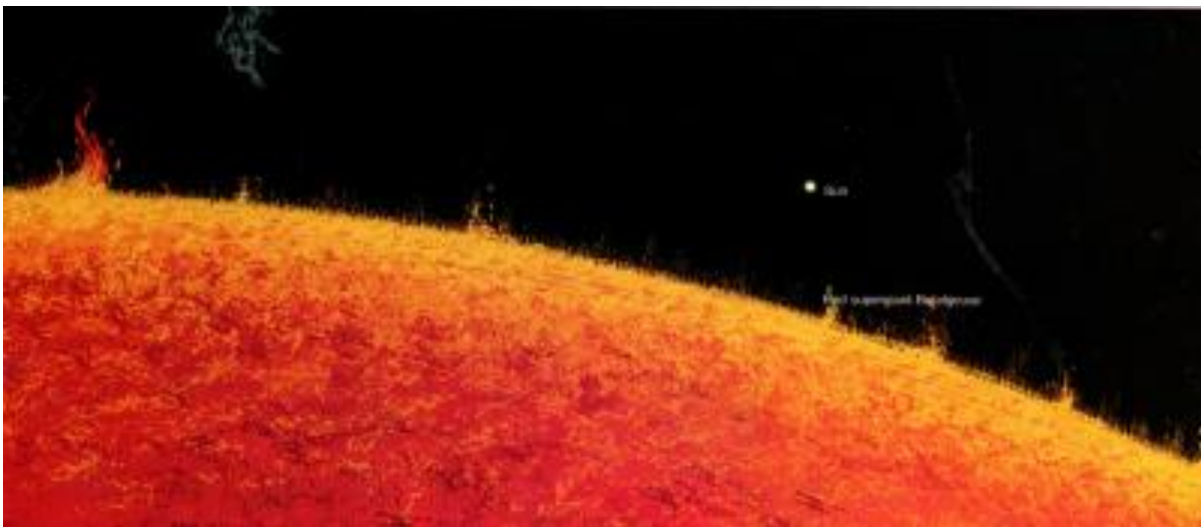
Voilà comment on pourrait résumer la taille prodigieuse des étoiles. Et puisqu'une image vaut mille mots, illustrons ce fait à l'aide de deux représentations. Comparons d'abord la taille de la Terre et celle du Soleil:



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 la Terre. Le Soleil 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 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, celle-ci remplirait tout l'espace compris jusqu'à Jupiter, englobant du coup les orbites de Mercure, Vénus, la Terre et Mars!<sup>xi</sup>

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 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 les autres planètes réunies. (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.<sup>xii</sup>

### 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 l'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.<sup>xiii</sup>

### 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.<sup>xiv</sup>

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, il rencontre énormément de résistance, se butant contre quantité d'autres photons qui, eux aussi, cherchent à 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.)<sup>xv</sup> (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 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.

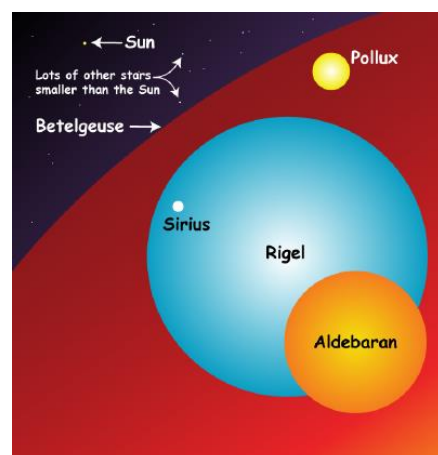
Autre phénomène encore plus intrigant: la température augmente lorsqu'on s'éloigne du Soleil. En effet, comme nous

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? Les spécialistes ne savent pas répondre à cette question et c'est pourquoi ils explorent en ce moment même les environs du Soleil à l'aide de la sonde Parker.<sup>xvi</sup>

## IV – 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 ce 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.<sup>xvii</sup>

## Quelques étoiles remarquables

|                     | Taille<br>(Soleil = 1) | Masse<br>(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

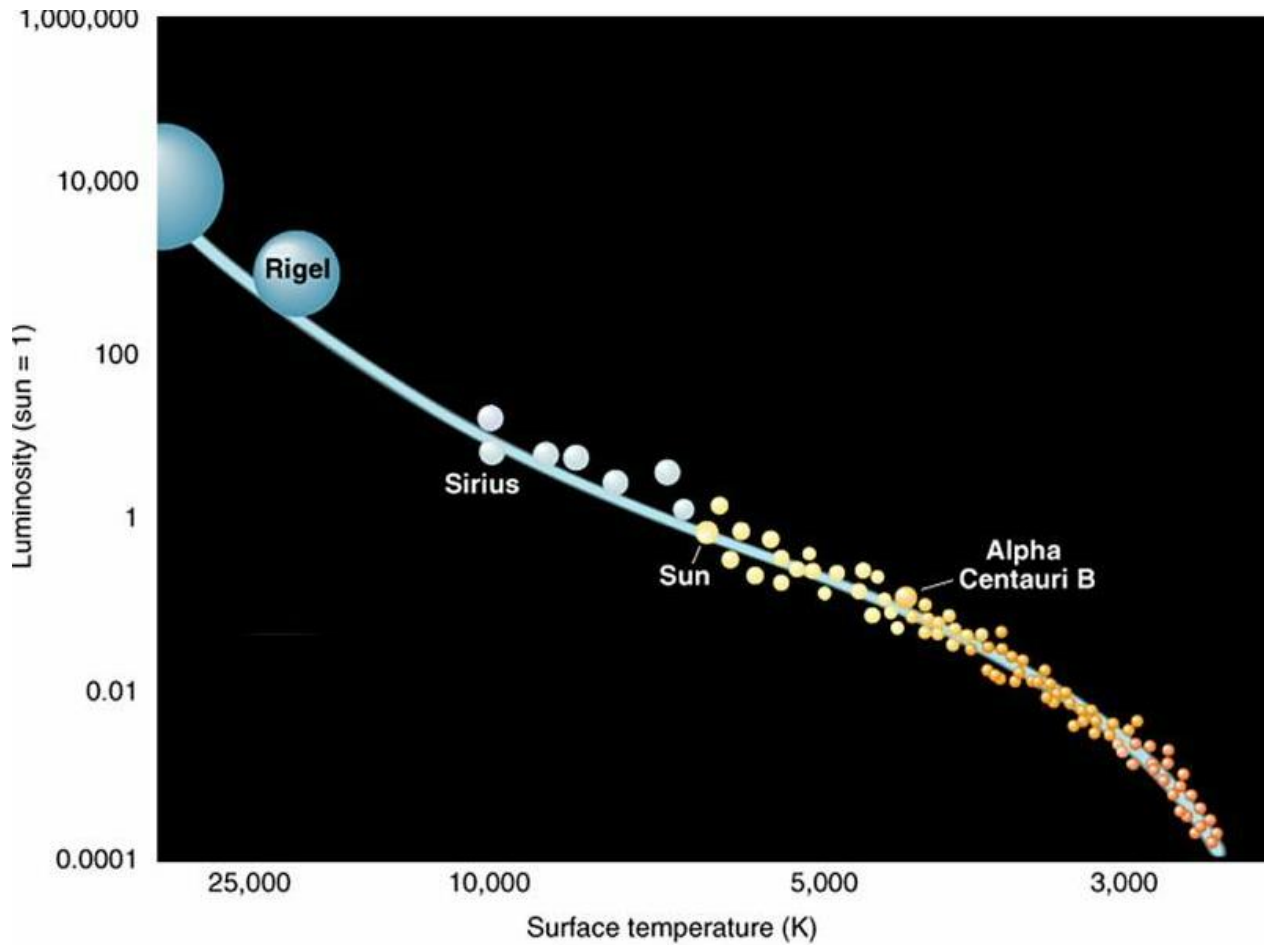
En 1912, l'astronome danois Ejnar Hertzsprung postule que la couleur des étoiles est directement liée à la température de leur surface. Il émet ainsi l'hypothèse que les étoiles bleues sont les plus chaudes et les plus grosses tandis que les étoiles rouges sont les plus petites et les moins chaudes.

À la même époque aux États-Unis, et sans connaître les travaux d'Hertzsprung, Henry Norris Russell avance les mêmes idées. Hertzsprung postule également l'idée 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 est toujours aussi pertinent un siècle plus tard. Il s'agit du *diagramme Hertzsprung-Russell* qu'on considère même comme «le plus important diagramme de l'histoire de l'astronomie» puisqu'il nous permet de comprendre la nature des étoiles.<sup>xviii</sup>

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:

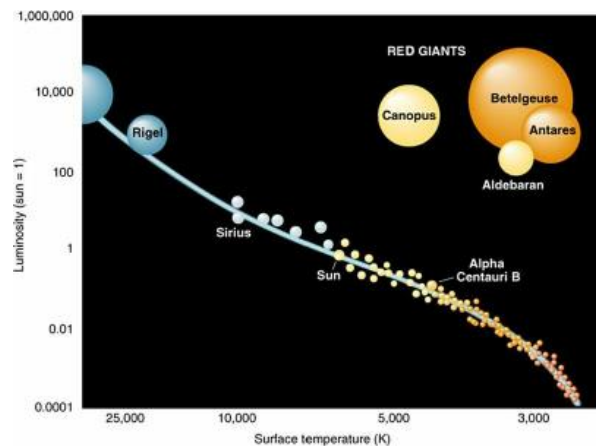


On observe ainsi que Rigel figure au sommet des étoiles chaudes et brillantes, tandis que le Soleil se trouve au centre, alors qu'Alpha du Centaure B est une étoile moins éclatante et moins chaude.

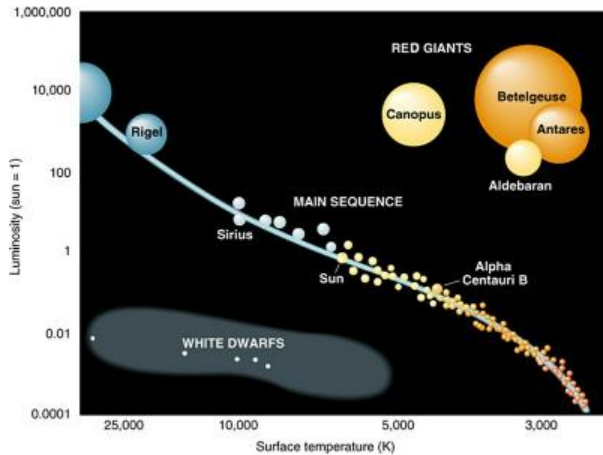
Au sommet du graphique figurent les étoiles les plus massives (40 fois la masse du Soleil) et les plus lumineuses, jusqu'à 160 000 fois. À l'opposé, les plus petites étoiles inscrites au bas à droite du diagramme sont treize fois moins massives que le Soleil et dix mille fois moins lumineuses.<sup>xix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

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 à 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 et à droite du graphique. On y retrouve notamment Bételgeuse, Aldébaran, Antarès et Canopus. Les astronomes désignent cette catégorie d'étoiles des géantes rouges.<sup>xx</sup>



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.<sup>xxi</sup>



Quant au 90% des étoiles qui forment la courbe principale, on a établi 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.<sup>xxii</sup>

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.

## V – Vie et mort de notre étoile

Le Soleil est né il y a 4,5 milliards d'années dans un nuage de gaz et de matière composée à 74% d'hydrogène, à 25% d'hélium et à 1% d'autres atomes.<sup>xxiii</sup> Depuis ce jour, il convertit son hydrogène en hélium. Les spécialistes estiment qu'il lui faudra encore 6,5 milliards d'années avant qu'il n'épuise ces réserves. Pour eux, le Soleil vit actuellement sa phase de séquence principale, celle durant laquelle toute étoile convertit son hydrogène en hélium.

Étonnamment, si le Soleil transforme ses réserves d'hydrogène en hélium depuis maintenant 4,5 milliards d'années, il n'a pourtant converti que 5% de ses réserves!<sup>xxiv</sup>

À noter que cette section se base sur l'exposé magistral rédigé par David Taylor, professeur de physique et d'astronomie à l'Université Northwestern: *The Life And Death Of Stars*.

Au bout d'environ onze milliards d'années, le Soleil connaîtra une fin de vie tumultueuse, tragique, abrupte... et catastrophique pour nous. Bizarrement, il explosera et se contractera *en même temps!*<sup>xxv</sup>

Pour le moment, c'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 la surface de l'étoile pèse énormément sur le cœur de celle-ci. De ce fait, l'immense boule de gaz tend à se contracter sur elle-même.



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

Cependant cette immense pression a aussi pour effet d'«enflammer» l'hydrogène qui se convertit en hélium et qui dégage en même temps d'énormes quantités

d'énergie qui, à leur tour, créent une immense pression vers l'extérieur. Or, cette pression compense très exactement celle exercée vers l'intérieur par le poids de la matière périphérique. Le Soleil est ainsi dit en *équilibre hydrostatique*.

Or, ce bel équilibre entre pressions extérieure et intérieure n'a rien de sensationnelle — ce 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 amplifierait la conversion de l'hydrogène en hélium avec davantage de dégagement 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.

## 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.»<sup>xxvi</sup>

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 Cérés... mais pas des astres de cent kilomètres ou moins.

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

Voilà pourquoi 90% des étoiles qu'on observe sont en équilibre hydrostatique, qu'importe leur taille. Et voilà aussi ce qui explique 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.<sup>xxvii</sup>

### L'incroyable flash de l'hélium

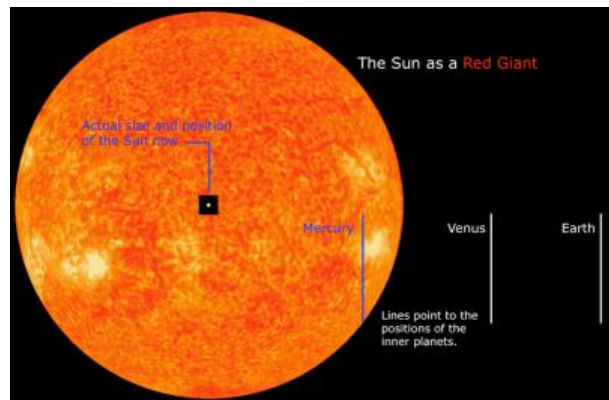
Par contre, vient un temps où l'étoile n'a plus suffisamment d'hydrogène à convertir pour maintenir cet équilibre - moment qui survient bien avant que l'étoile n'ait épuisé toutes ses réserves. Cela surviendra dans quelques 4,8 milliards d'années dans le cas du Soleil, estime-t-on.<sup>xxviii</sup>

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.<sup>xxix</sup> Notre planète sera alors rôtie et toute vie comme toute atmosphère et l'eau auront disparu.

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 ce qu'il est 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 reste de la Terre (de la cendre) sera vaporisé.

Le Soleil sera alors devenu un astre d'un rouge vif éclatant, ce que les astronomes



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

appellent une *géante rouge*. Il aura de ce fait quitté la séquence principale de la vie des étoiles pour rejoindre les étoiles qui figurent au coin supérieur droit du diagramme Hertzsprung-Russell.

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.<sup>xxx</sup>

Tandis que les couches périphériques se dilateront 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 atteint les 100 millions de degrés, et alors, l'hélium se transforme en carbone. Mais

ce processus génère une telle quantité d'énergie que l'hélium se transforme en carbone en *quelques minutes* seulement! 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 alors d'un éclat inimaginable, un éclat qui, durant quelques temps, surpassera celui de toutes les étoiles de notre galaxie!<sup>xxx</sup>

## Conclusion: perspectives d'avenir

L'idée que nous soyons condamnés à disparaître d'ici cinq ou six milliards d'années a de quoi nous plonger dans l'abîme. Il faut cependant mettre les choses en perspective.

On sait que nos plus lointains ancêtres – les tout 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 d'un demi-million d'années. Les plus vieilles civilisations remontent à quelques dix mille ans environ, tandis qu'on pourrait même considérer que notre civilisation moderne ne date que de quelques siècles tout au plus.

Si on considère que l'espèce humaine n'a, disons, qu'un demi-million d'années d'existence, on peut estimer qu'il s'écoulera *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 s'était écoulé 3½ jours dans la vie de quelqu'un qui a encore cent ans à vivre.

Si on considère plutôt que notre civilisation moderne remonte à cinq cents ans, les cinq milliards d'années à venir représentent dix millions de fois plus de temps; l'équivalent des cinq premières minutes d'existence 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'extraordi-

naire 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 qu'on considère comme très long: 170 millions d'années. En comparaison, on dispose encore de trente fois plus de temps qu'eux. Mais que serons-nous devenus dans... 170 millions d'années?

\* \* \*

Que restera-t-il du Soleil après qu'il aura fait son flash de l'hélium? Connaîtra-t-il l'ultime sort réservé à certaines étoiles: devenir un trou noir?

Jusqu'à présent, nous avons examiné une minuscule parcelle de l'Univers: notre Système solaire et le monde des étoiles. Mais l'Univers recèle quantité d'autres aspects tout aussi surprenants – pour ne pas dire encore plus époustouflants. On pense bien sûr aux trous noirs... mais s'il n'y avait que ça d'épatant? Songeons simplement à la question ultime et souvent posée: qu'il y avait-il *avant* le Big Bang?

C'est ce qu'on verra dans la suite de cet exposé.



- i Écoutez à ce sujet notre balado [Mystères planétaires](#) diffusé le 2 décembre 2018.
- ii Écoutez à ce sujet notre balado [Planètes et exoplanètes](#) diffusé le 29 avril 2018.
- iii Écoutez à ce sujet notre balado [Les extraterrestres nous ressemblent-ils?](#) diffusé le 21 octobre 2018.
- iv Source de l'illustration: [National Geographic Picture Atlas of Our Universe](#).
- v Écoutez à ce sujet notre balado [Vingt ans d'exploration: les astéroïdes](#)
- vi David Taylor, [The Life And Death Of Stars](#), Northwestern University, 2012.
- vii Écoutez à ce sujet notre balado [Vingt ans d'exploration: les astéroïdes](#) diffusé le 19 mai 2019.
- viii Voir aussi le clip [A Tour of Alpha Centauri](#) de la NASA.
- ix Écoutez à ce sujet notre balado [Vingt ans d'exploration : les astéroïdes](#) diffusé le 19 mai 2019.
- x NASA, [Our Sun by the Number](#).
- xi Wikipedia, [Betelgeuse](#).
- xii [The Solar System: Composition of the Solar System](#), & David Taylor, [The Life And Death Of Stars](#), Northwestern University, 2012.

- 
- <sup>xiii</sup> NASA, *Our Sun In Depth*.
- <sup>xiv</sup> NASA, *Our Sun In Depth* (section «*Structure*»).
- <sup>xv</sup> David Taylor, *The Life And Death Of Stars*, Northwestern University, 2012.
- <sup>xvi</sup> NASA, *Parker Solar Probe and the Curious Case of the Hot Corona*, July 27, 2018.
- <sup>xvii</sup> *What can we learn from the color of a star?*, Cornell University.
- <sup>xviii</sup> *Ejnar Hertzprung and Henry Norris Russell*, John Hopkins University & David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.
- <sup>xix</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.
- <sup>xx</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.
- <sup>xxi</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.
- <sup>xxii</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.
- <sup>xxiii</sup> David Taylor, *The Birth of The Sun*, Northwestern University, 2012 (1er paragraphe).
- <sup>xxiv</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012 (16<sup>e</sup> paragraphe).
- <sup>xxv</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012 (dernier paragraphe).
- <sup>xxvi</sup> Wikipédia, *Équilibre hydrostatique*.
- <sup>xxvii</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.
- <sup>xxviii</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012 (14<sup>e</sup> paragraphe).
- <sup>xxix</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012 (14<sup>e</sup> paragraphe).
- <sup>xxx</sup> David Taylor, *The Sun's Evolution*, Northwestern University, 2012.
- <sup>xxxi</sup> David Taylor, *The End Of The Sun*, Northwestern University, 2012.