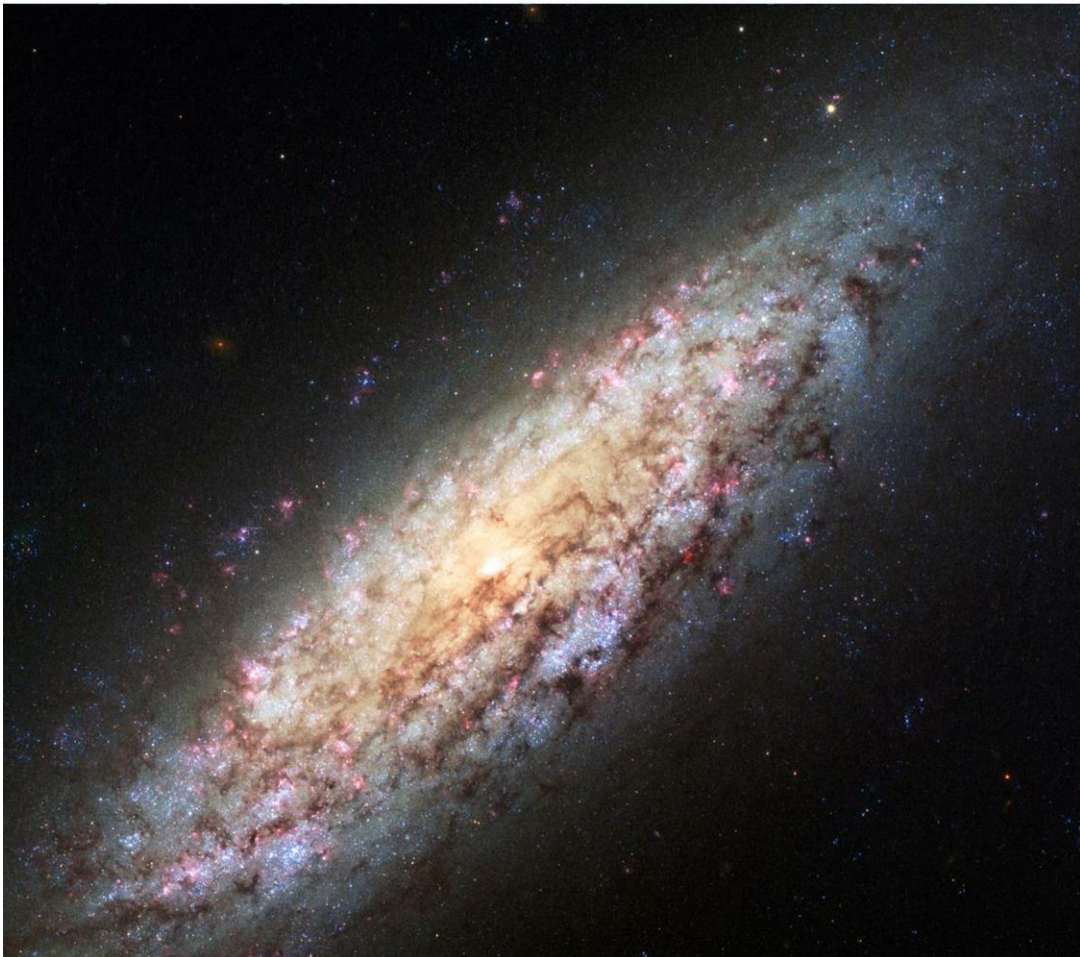


VOYAGE DANS L'ESPACE

Épisode

131

Vingt découvertes qui ont tout changé



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 plateforme 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, de cosmologie, etc.

Pour la plupart des balados, nous préparons un exposé détaillé; il peut s'agir d'une conversation entre l'animateur de *Voyage dans l'espace* (à l'origine Mathieu et à présent Florent Meunier), et Claude, le passionné d'astronautique, ou d'une entrevue avec un spécialiste (souvent un astronome).

Ces exposés sont publiés sous forme de fascicules, comme celui-ci. Notez que 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 plateforme patreon.com.

L'équipe de *Voyage dans l'espace* se compose de: **Claude Lafleur**, journaliste scientifique qui suit au quotidien depuis plus de 50 ans les péripéties de l'exploration spatiale; **Florent Meunier**, ingénieur de son, **Laurent Runigo**, infirmier et **Dylan Bergeron**, préposé.

En couverture



Il y a cent ans, les astronomes étaient intrigués par la curieuse nébuleuse d'Andromède... pour finir par découvrir qu'il s'agit en fait d'un univers-île voisin de nous.

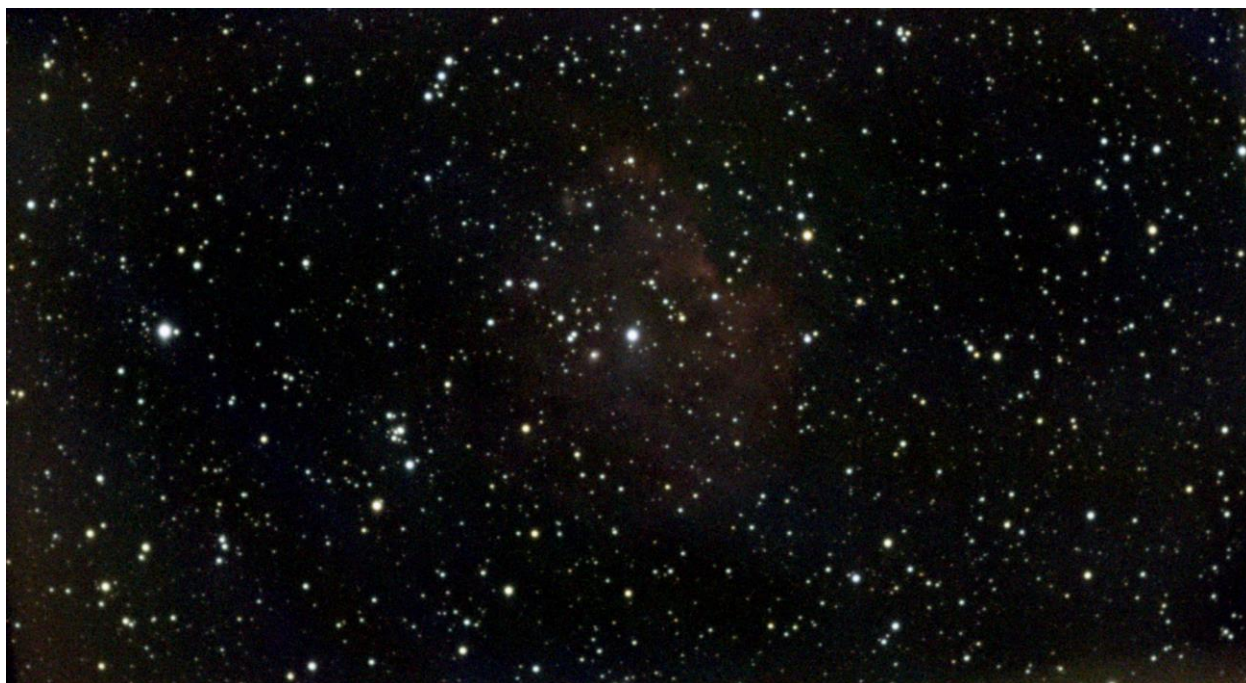
L'équipe de *Voyage dans l'espace*:
Claude Lafleur, contenu
Florent Meunier, animation et montage
Laurent Runigo, médias sociaux

Amis et collaborateurs :
Mathieu Rancourt
Jean-Pierre Lessard
Frédéric Baril

L'équipe des fascicules:
Rédaction: Claude Lafleur
Couverture: Dylan Baillargeon
Illustrations: NASA

© Copyright, Claude Lafleur, 2023
ISBN 978-2-925384-15-1 (pdf)
ISBN 978-2-925384-16-8 (kindle)

Dépôt légal:
Bibliothèque nationale du Québec, 2024
Bibliothèque nationale du Canada, 2024



Le firmament nous fascine depuis la nuit des temps. (Photo: Jean-Pierre «Galaxyman» Lessard.)

Vingt découvertes qui ont tout changé

Écoutez le balado 131, *Vingt découvertes qui ont tout changé*, diffusé le 21 avril 2024. Texte de Claude Lafleur.

Il y a quelques temps, l'un de nos auditeurs, Fabrice Estrabaut, nous a suggéré de parler «des apports scientifiques et des découvertes réalisés grâce aux télescopes et aux sondes spatiales : ce à quoi on s'attendait ainsi que les surprises».

Voilà qui nous a donné l'idée de faire un tour d'horizon des découvertes qui ont bouleversé notre vision du monde. Ce tour d'horizon est particulièrement approprié puisque 2024, comme nous l'avons relaté dans le balado précédent, marque le centenaire de l'une des découvertes les plus bouleversantes qu'on ait jamais faites concernant l'Univers.

Que de chemin parcouru en cent ans, un chemin époustouflant.

De cette façon, nous allons aussi répondre à une question qui est souvent posée: à quoi sert-il d'explorer l'espace? À quoi bon consacrer tant de nos ressources à étudier l'espace, les étoiles et les planètes alors qu'il y a tant à faire ici sur Terre?

C'est ce que nous allons voir.

Introduction: un Univers immuable

Mais avant de parcourir ce chemin, rappelons la vision de l'Univers qu'on avait il y a un siècle.

À l'époque, on avait l'impression que l'Univers était constitué d'une galaxie qu'on appelle la Voie lactée ou encore la Galaxie (avec un G). Cependant, les astronomes soupçonnaient que l'Univers était beaucoup plus vaste, qu'il y avait possiblement d'autres galaxies, comme nous l'a expliqué l'astrophysicien Jean-René Roy dans le balado 130: 1924, l'année où l'Univers a «éclaté».

On considérait aussi que l'Univers était immuable: c'est-à-dire qu'il ne changeait pratiquement pas, qu'il avait toujours été tel quel et qu'il le serait toujours. L'Univers avait toujours été tel qu'on l'observait.



Lorsqu'on regarde le ciel à l'aide de télescope, on observe des «nébuleuses» qui ont de curieuses formes. De quoi s'agit-il?, se demandait-on il y a un siècle.

Bien sûr, il y avait çà et là quelques petites choses qu'on ne saisissait pas très bien, notamment la présence de «nébuleuses» dont on ignorait la nature. Il s'agissait probablement, pensait-on, de nuages de gaz. Les astronomes étaient toutefois intrigués par le fait que certaines d'entre elles apparaissaient dans leurs télescopes sous la forme de spirale. C'était néanmoins des objets «quelconques» qui se trouvaient dans la Galaxie. Pourquoi certaines nébuleuses apparaissent-elles sous forme de spirale? Petit mystère à résoudre.¹

C'est dire qu'il y a cent ans, on croyait avoir découvert le principal concernant l'Univers ou, du moins, l'essentiel de ce qu'il y avait à savoir.

Notons qu'aujourd'hui, on a la même impression: on croit connaître l'essentiel de ce qu'il y a à savoir à propos de l'Univers... bien que nous sommes conscients qu'il reste quantité de «détails» à approfondir.

Chose certaine, de nos jours, on ne s'attend pas à voir nos connaissances bouleverser autant que ce fut le cas au cours du dernier siècle. De même il y a cent ans, on ne s'attendait pas non plus à voir nos connaissances aussi bousculées... Ainsi va la vie.

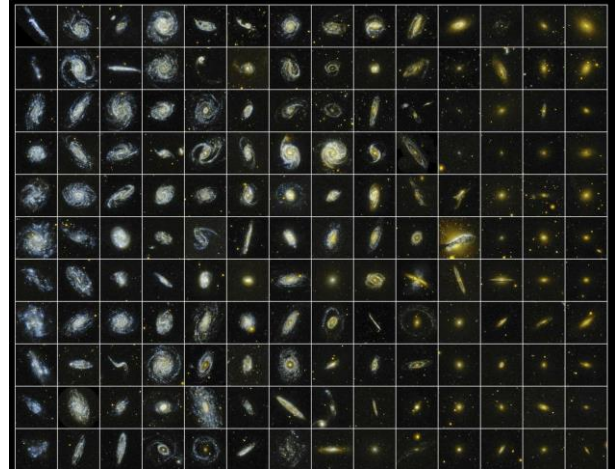
1 – C'est la faute à Hubble!

Mais voilà que fin 1923-début 1924, l'astronome Edwin Hubble établit que deux nébuleuses – appelées Messier 31 et Messier 33 et surnommées Andromède et le Triangle – se trouvent à au moins 1 million d'années-lumière de nous. Or, c'est là une découverte troublante puisque ces nébuleuses se situent bien au-delà de la Voie lactée.²

Qui plus est, ces nébuleuses semblent constituées d'un très grand nombre d'étoiles, comme la Galaxie. Il pourrait donc s'agir de d'autres galaxies. L'Univers ne serait donc pas constitué que de la Galaxie, mais de plusieurs galaxies. Et puisque les distances entre ces galaxies sont énormes et qu'il semble ne rien y avoir entre elles, on les assimile alors à des univers-îles.³

Edwin Hubble estime même qu'il y aurait un très grand nombre de ces univers-îles, possiblement des centaines de milliers.⁴ Voilà donc que l'Univers est constitué d'une multitude d'univers-îles. (Notons que dès 1917, on avait déjà repéré des millions de ces «spirales».)

C'est à la fois intrigant et renversant, car cela signifie que l'Univers est nettement plus vaste qu'on se le représentait jusqu'alors.



L'Univers serait fait de centaines de milliards de galaxies de différents types.

Voilà qui change complètement notre perception de l'Univers... et notre vision de nous-mêmes car, tout compte fait, nous habiterions dans une galaxie parmi des centaines de milliers d'autres.

2 – Un Univers en expansion

En 1927, Georges Lemaître, prêtre et astronome, fait une autre observation étonnante: les galaxies, ces univers-îles, s'éloignent toutes de nous. Ce que confirme Edwin Hubble.⁵ C'est comme si nous nous trouvions au centre de l'Univers – or c'est là une idée qui nous plaît toujours énormément.⁶

Puis, en mesurant la vitesse de fuite des galaxies, on découvre un autre phénomène étonnant: les galaxies s'éloignent d'autant plus rapidement de nous qu'elles sont distantes.

Comment expliquer ces deux phénomènes... qui défient l'entendement?

Pour comprendre ce qui se passe, les astronomes nous proposent une image. Imaginons qu'on dessine à la surface d'un ballon gonflable un certain nombre de points noirs. Chaque point représente une galaxie.⁷

En gonflant le ballon, on constatera que tous les points noirs s'éloignent les uns des autres. Aucun n'est au centre de «l'Univers», mais qu'importe à partir de quel point on observe le gonflement du ballon, on verra toujours tous les points noirs s'éloigner du nôtre.

On s'est donc mis à parler de l'*expansion* de l'Univers.⁸ Nous vivons dans un Univers qui s'étend sans cesse, et non pas dans un Univers fixe et statique, comme on l'a toujours cru.

Cette idée était si bouleversante qu'il a fallu du temps à nombre d'astronomes pour l'accepter.

3 — Des galaxies qui prennent de la vitesse

Mieux encore, plus vous gonflez le ballon, plus vous constaterez que la vitesse de fuite des points noirs augmente avec leur éloignement par rapport à n'importe quel autre point noir. Or, voilà précisément ce qu'observent les astronomes.

Ce n'est pas pour dire que l'Univers est une sorte de ballon qui gonfle, mais c'est plutôt une image simple qui nous permet de réaliser que nous ne sommes pas le centre de l'Univers et c'est une image qui explique aussi l'augmentation de la vitesse en fonction de la distance.

La loi de Hubble

Edwin Hubble a même établi une relation mathématique entre distance et vitesse d'éloignement des galaxies. Cette loi fait appel à un chiffre fort important et qu'on a appelé la *constante de Hubble*.

Il s'agit en fait d'une équation toute simple, qui sera plus tard rebaptisée la *loi de Hubble-Lemaître* et qui s'énonce comme suit:

$$v = H_0 d$$

où:

v est la vitesse d'éloignement d'une galaxie

H_0 est la *constante de Hubble*

d est la distance de la galaxie.

Or, la valeur de la constante H_0 est extrêmement importante pour les astronomes, car elle détermine la vitesse d'expansion de l'Univers. Par conséquent, ils cherchent sans cesse à déterminer le plus précisément possible cette constante et à vérifier qu'elle a toujours été la même. Autrement dit, les astronomes ne prennent pas pour acquis que le rythme d'expansion de l'Univers a toujours été le même... Peut-être que oui, mais peut-être pas non plus... À voir.

4 — Et si on allait à rebours?

Si l'Univers s'assimile à un ballon qui gonfle, ne pourrions-nous pas «remonter le temps» pour parvenir au moment où ce n'était qu'un point?

C'est l'idée originale qu'a émis Georges Lemaître au début des années 1930.⁹ Son idée était toutefois audacieuse car, comme nous le racontons dans le balado 58, Georges Lemaître: le père du Big Bang,¹⁰ celui-ci est allé confronter Edwin Hubble et Albert Einstein qui s'objectaient à un tel concept.

Rappelons que dans les années 1910, Einstein avait conçu sa fameuse *théorie de la Relativité générale* et que d'après lui, l'Univers était statique. Mais Alexander Friedman (en 1924) et Georges Lemaître

(en 1927) énoncent plutôt que l'Univers est dynamique, c'est-à-dire qu'il est soit en expansion, soit en contraction. L'Univers serait comme un crayon qu'on tenterait de faire tenir sur sa pointe, disent-ils. Le crayon ne peut pas se tenir debout, tout comme l'Univers ne peut pas être fixe: ou il est en expansion ou il est en contraction.

Un jour, il y eut «Big Bang»

Or, Einstein et Hubble, élevés avec la certitude d'un Univers statique et immua-

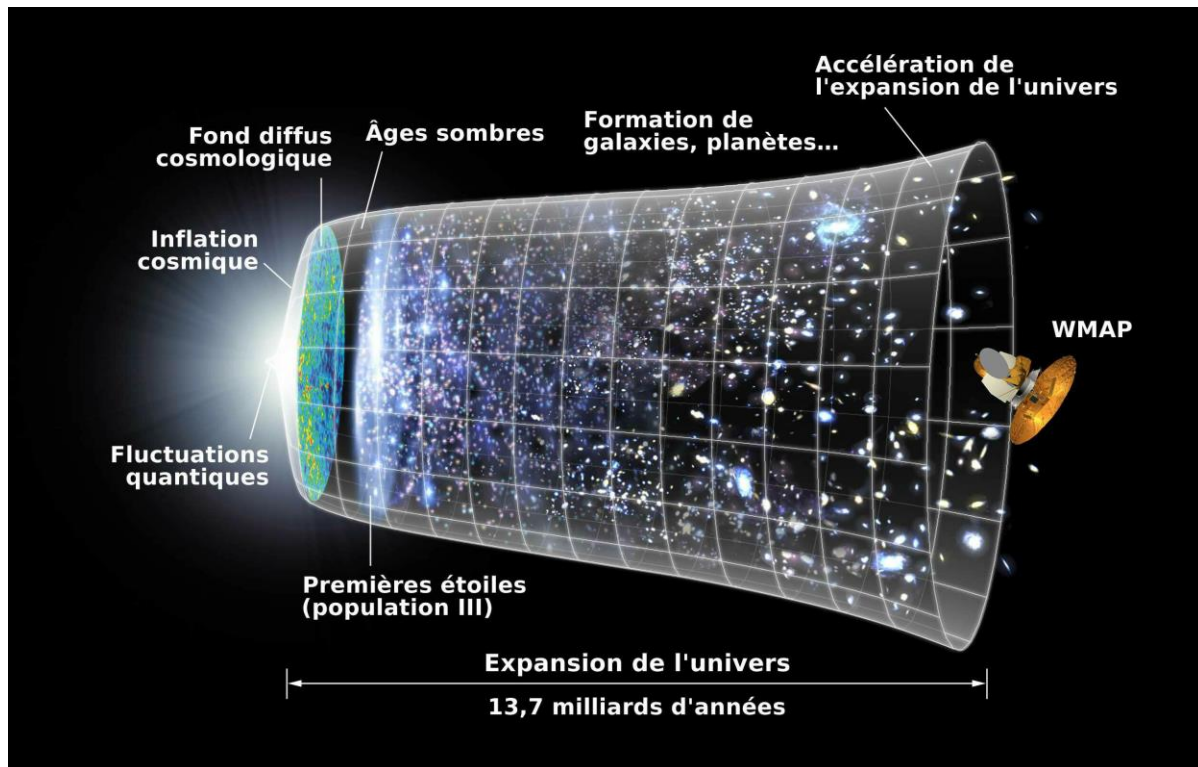
ble, avaient beaucoup de difficulté à accepter l'idée que celui-ci puisse un jour avoir été réduit à un point.¹¹

C'est donc Lemaître qui nous introduit à une autre idée bouleversante: tout l'Univers a jadis été concentré dans un point infiniment petit – littéralement – qui a un jour «explosé». Il est le père d'un concept hallucinant: le Big Bang.¹²

Selon nos connaissances actuelles, la

naissance de l'Univers remonte à 13,8 milliards d'années environ. Ainsi donc, non seulement l'Univers n'est-il pas immuable mais il n'a pas toujours existé!

Voilà qui pose une série de questions troublantes, dont: qu'y avait-il avant le Big Bang? Qu'est-ce qui a déclenché ce Big Bang? L'Univers disparaîtra-t-il un jour où s'étendra-t-il à tout jamais? Etc.



Voici comment on se représente l'expansion de l'Univers, du Big Bang (à gauche) jusqu'aux galaxies d'aujourd'hui.

5 – Les étoiles ont une existence

Les astronomes se sont énormément intéressés aux étoiles, ces corps célestes qu'on voit briller au firmament et à qui, dans le cas du Soleil, nous devons la vie.¹³ Encore là, ils ont fait des découvertes auxquelles on ne s'attendait vraiment pas.

En prenant l'exemple du Soleil, ils ont identifié que, en général, les étoiles sont constituées en très grande partie d'hydrogène et d'hélium, les deux premiers éléments du tableau périodique des éléments

chimiques. Dans le cas du Soleil, cette étoile se compose (en termes de masse) de 73,3% d'hydrogène, de près de 25% d'hélium et de moins de 2% d'oxygène, de carbone, de fer, etc.

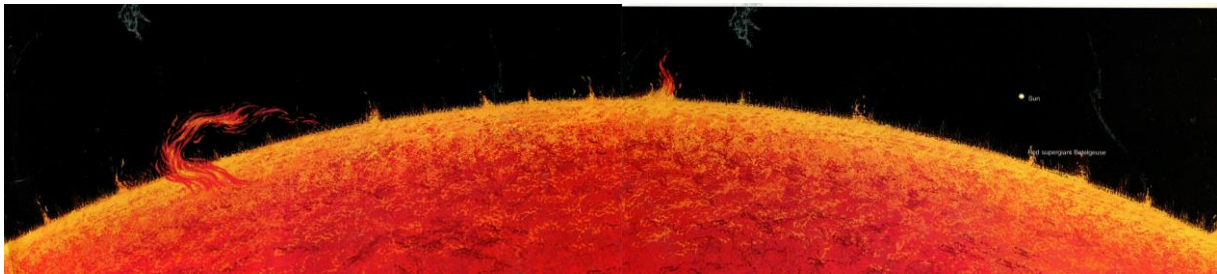
Composition du Soleil (en termes de masse)

Hydrogène	73,46 %
Hélium	24,85 %
Oxygène	0,77 %
Carbone	0,29 %
Fer	0,16 %
Néon	0,12 %
Azote	0,09 %
Silicium	0,07 %
Magnésium	0,05 %
Soufre	0,04 %

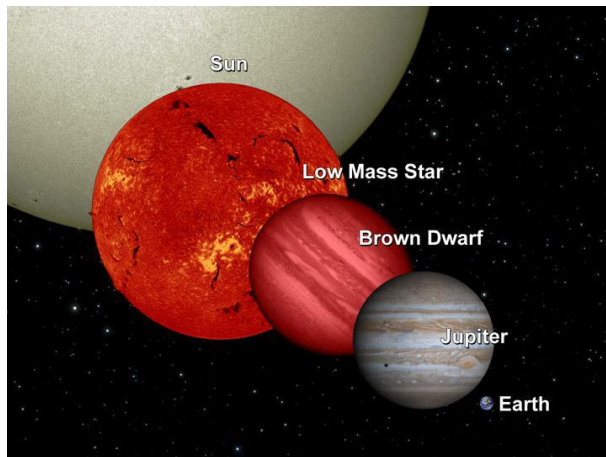
Source: [Wikipédia](#).

Différents types d'étoile

Les astronomes ont en outre repéré qu'il existe plusieurs types d'étoile. Or, ce qui les différencie le mieux, c'est leur masse. On classe ainsi les étoiles selon leur taille, le Soleil est une étoile qui mesure 1 400 000 kilomètres de diamètre et qui est de type G ou, pour être plus précis: de type G2 V.¹⁴



Il y a dans notre galaxie des étoiles qui sont cent fois plus grosses que notre Soleil (à peine visible sur la droite de cette illustration de Bételgeuse) et des étoiles dix fois plus petites (ci-dessous).



Parmi les étoiles les plus petites, il y a les naines brunes, à peine plus grosses que Jupiter.

Vie d'étoile

Mais la découverte la plus stupéfiante a été que les étoiles ont une existence et une espérance de vie déterminées d'avance. C'est ainsi qu'elles naissent au sein d'un nuage de gaz, qu'elles évoluent

ensuite en transformant leur hydrogène en hélium – un processus qui génère d'énormes quantités d'énergie sous forme de chaleur, de lumière et autres radiations – pour finir par mourir lorsqu'elles ont épuisé une certaine portion de leur hydrogène.¹⁵

Les étoiles sont en fait les seuls corps célestes qui évoluent dans le temps, tandis que, dans le cas des planètes, des galaxies et autres objets célestes, une fois formés, ceux-ci ont une durée de vie théoriquement illimitée (en fait, aussi longtemps qu'ils ne sont pas détruits par un phénomène extérieur). Par contre, les étoiles ont une durée de vie déterminée en fonction de leur masse. C'est là une découverte majeure. On sait ainsi que dès le départ, les étoiles de type G comparables au Soleil ont une durée de vie d'environ 10 milliards d'années.

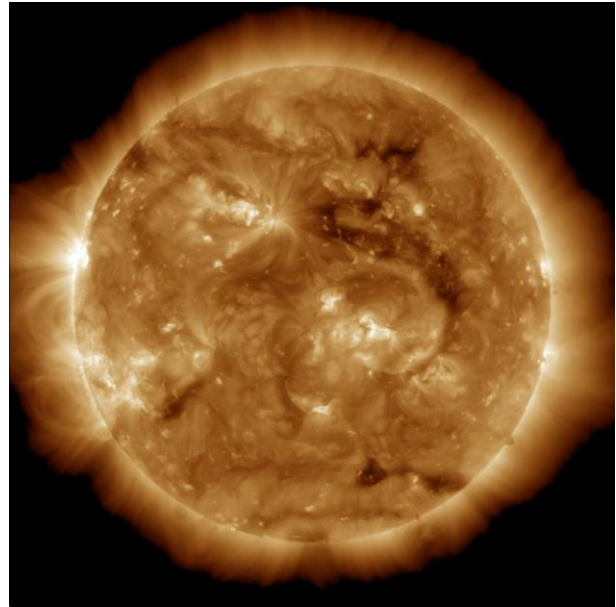
Espérance de vie inverse

Autre découverte surprenante: la durée de vie des étoiles est inversement proportionnelle à leur masse. Il y a ainsi des étoiles beaucoup plus grosses que le Soleil dont l'espérance de vie n'est que de quelques *millions* d'années seulement, tandis que de très petites étoiles ont une durée de vie de *centaines de milliards* d'années. Considérant que l'Univers n'existe que depuis 13,8 milliards d'années, autant dire que les petites étoiles sont éternelles.

Des astres «vivants»

Bref, les étoiles sont les seuls corps célestes qui ont «une vie», c'est-à-dire qu'elles évoluent d'une façon déterminée, comme tout être vivant, alors que tout le reste de l'Univers demeurerait inchangé s'ils ne survenaient pas des facteurs extérieurs (collisions ou autres phénomènes destructeurs). Ainsi, la Terre, qui s'est formée il y a 4,5 milliards d'années, demeurera dans son ensemble à peu

près inchangée jusqu'au jour où le Soleil arrivera au terme de sa vie active, dans moins de 4 milliards d'années. Voilà qui est troublant: un jour, nous disparaîtrons totalement!



Simplement à le regarder (à l'aide d'instruments appropriés), on constate aisément que le Soleil, comme toute étoile, est un astre bouillant d'activités... contrairement aux planètes.

6 – Poussière d'étoile

À la suite du Big Bang, l'Univers était constitué de protons, d'électrons et de neutrons, des particules qui formaient une sorte de soupe informe. Graduellement, des protons, des électrons et des neutrons se sont assemblés pour constituer des atomes d'hydrogène – l'élément chimique le plus simple et le plus abondant de l'Univers.

Ces atomes ont fini par s'agglomérer au sein d'immenses astres de gaz que sont les étoiles. Durant leur vie régulière, les étoiles transforment leur hydrogène en hélium, le deuxième élément le plus abondant de l'Univers (et deuxième élément du tableau périodique).

Les autres éléments chimiques

Ce que les astronomes ont par la suite découvert, c'est que les autres éléments chimiques sont fabriqués au sein des étoiles, notamment le carbone, l'oxygène, le fer, etc.

1 IA 1 H +1 1,008 Hydrogène 2 IIA 2 He +2 4,00 Hélium															
3 IIIA 3 Li +1 6,94 Lithium 4 IIIA 4 Be +2 9,01 Béryllium															
11 IIIA 11 Na +1 22,99 Sodium 12 IIIA 12 Mg +2 24,31 Magnésium															
19 IIIA 19 K +1 39,10 Potassium 20 IIIA 20 Ca +2 40,08 Calcium															
37 IIIA 37 Rb +1 85,47 Rubidium 38 IIIA 38 Sr +2 87,62 Strontium															
55 IIIA 55 Cs +1 132,91 Césium 56 IIIA 56 Ba +2 137,33 Baryum															
87 IIIA 87 Fr +1 [223] Francium 88 IIIA 88 Ra +2 [226] Radium															
13 IIIA 13 B +3 10,811 Bore 14 IIIA 14 C +4 12,011 Carbone															
15 IIIA 15 N +3 14,007 Azote 16 IIIA 16 O +2 15,999 Oxygène															
5 IIIA 5 B +3 10,811 Bore 6 IIIA 6 C +4 12,011 Carbone															
13 IIIA 13 Al +3 26,98 Aluminium 14 IIIA 14 Si +4 28,09 Silicium															
31 IIIA 31 Ga +3 69,72 Gallium 32 IIIA 32 Ge +4 72,64 Germanium															
49 IIIA 49 In +3 114,82 Indium 50 IIIA 50 Sn +4 118,71 Étain															
81 IIIA 81 Tl +3 204,38 Thallium 82 IIIA 82 Pb +4 207,2 Plomb															
103 IIIA 103 Lr +3 [261] Lanthanum 104 IIIA 104 Rf +4 [261] Rutherfordium															

Le tableau des éléments chimiques montre que le tout premier élément est l'hydrogène (H), en haut à gauche, et le deuxième est l'hélium (He), en haut à droite. Ce sont les deux éléments les plus abondants dans l'Univers. Par la suite, tous les autres éléments chimiques ont été fabriqués au sein des étoiles au terme de leur vie.

Tel qu'expliqué dans le balado 56, Le monde méconnu des étoiles, ces éléments sont fabriqués au terme de la vie régulière des étoiles, au moment où elles s'effondrent sur elles-mêmes.

Cette destruction de chaque étoile fait s'éparpiller dans la galaxie les différents éléments chimiques. Ceux-ci se retrouvent éventuellement dans des nuages de gaz à partir desquels naissent de nouvelles étoiles. Se forment aussi autour de ces étoiles des planètes.

C'est de cette façon que l'on retrouve sur Terre les éléments chimiques qui nous sont familiers: carbone, oxygène, fer, etc.

C'est dire que ces atomes, dont nous sommes faits et qui composent la matière qui nous entoure, ont jadis été fabriqués dans des étoiles qui sont arrivées au terme de leur vie avant que naissent le Soleil et les planètes du Système solaire il y a 4,5 milliards d'années.

Si donc il n'y avait pas eu des générations entières d'étoiles avant la formation du Système solaire, rien de ce que nous sommes n'existerait!

D'où l'idée, aussi fabuleuse que romantique, que nous sommes faits de «poussière d'étoile», littéralement, c'est-à-dire d'atomes qui ont jadis été fabriqués au centre d'étoiles.

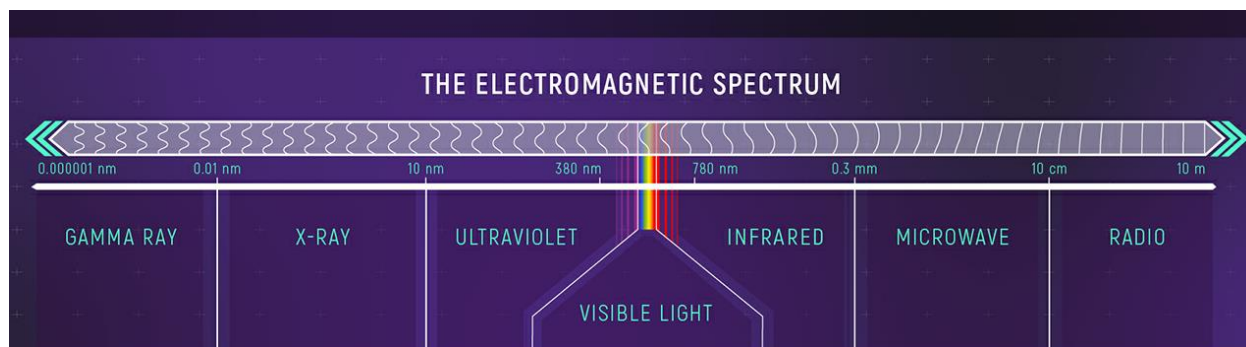
7 – Des émissions venues de l'espace

Dans les années 1920, alors qu'on communique de plus en plus par ondes radio, on observe que ces transmissions sont souvent brouillées par un phénomène statique dont on ignore l'origine. En 1928, les Laboratoires de la société Bell Telephone embauchent un physicien et ingénieur radio, Karl Jansky, pour qu'il élucide l'énigme.

En 1933, après des mois d'observations, celui-ci découvre une source de brouillage qui, ô surprise, provient de l'espace lointain.¹⁶ Voilà qui motive un jeune ingénieur et opérateur radio, Grote Reber, à tenter de localiser plus précisément cette source.¹⁷

En fin de compte, ce que Jansky et Re-

ber mettent en évidence, c'est le fait que l'Univers regorge d'émissions d'ondes radio, ce qu'aucun astronome n'avait envisagé avant eux.¹⁸ Les étoiles, comme tout le reste de l'Univers d'ailleurs, ne font pas que briller au firmament mais émettent sur pratiquement dans toutes les longueurs d'onde.



Le «spectre électromagnétique»: lorsque nous regardons l'Univers avec nos yeux, nous ne voyons qu'une parcelle de ce qu'il y a à voir (au centre). Mais l'Univers «émet» dans toutes les longueurs d'onde.

Nouvelles fenêtres sur l'Univers

Dans les années et décennies suivantes, les astronomes découvriront en effet qu'on peut observer l'Univers non seulement dans le visible (avec des télescopes) mais également dans le domaine des ondes radios (avec des radiotélescopes) ainsi que dans le domaine des émissions X, gamma, infrarouge, etc.

Or, c'est là une découverte majeure puisqu'il s'agit d'autant de façons de scruter l'Univers. Par exemple, observer notre galaxie en infrarouge permet de voir ce qui se passe à l'intérieur des nuages de

poussière et d'assister à la formation des étoiles et des planètes. Capter les émissions radio, X et gamma des étoiles, permet de suivre leur évolution et d'assister à leur fin de vie. Etc.

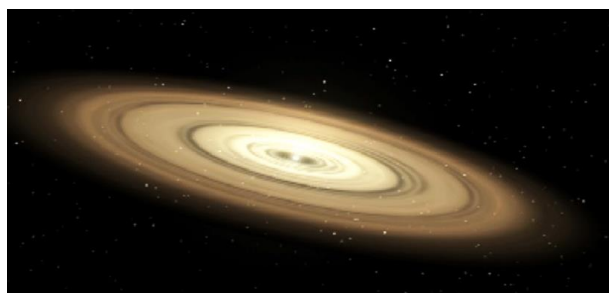
Malheureusement pour les astronomes (mais heureusement pour nous), plusieurs de ces radiations sont filtrées par l'atmosphère. On n'a découvert leur présence qu'à partir de 1946 lorsqu'on s'est mis à expédier des appareils de mesure dans l'espace grâce aux missiles V-2.¹⁹ Aujourd'hui, des télescopes conçus pour capter l'infrarouge, les émissions X et gamma scrutent l'Univers en permanence.

8 – Le Système solaire, le modèle à suivre

En 1930, Clyde Tombaugh découvre une neuvième planète d'importance à graviter autour du Soleil: Pluton.²⁰ On acquiert alors la vision d'un Système solaire bien ordonné qui nous est familière.²¹

En effet, tout au long du 20^e siècle, nous développons l'idée que les planètes se sont formées autour du Soleil de façon ordonnée. C'est-à-dire que, lors de la

formation du Soleil et des planètes, il y a plus de 4,5 milliards d'années, 99% de la matière constituant le nuage de gaz s'est concentrée au centre, donnant naissance au Soleil. En parallèle, un disque de matière – qu'on appelle un disque d'accrétion – s'est formé autour du Soleil naissant, le ceinturant à la manière des anneaux de Saturne. Ce disque s'est peu à peu divisé en anneaux, anneaux à partir desquels se sont formées les planètes.²²



Lors de la formation du Système solaire, un disque de matière – un disque d'accrétion – s'est constitué autour du Soleil.

Selon ce scénario, les éléments chimiques les plus lourds avaient tendance à graviter proche du Soleil, tandis que les éléments plus légers gravitaient à distance. Il a résulté de ce scénario que de petites planètes rocheuses se sont formées près du Soleil – Mercure, Vénus, la Terre et Mars – tandis que de grosses planètes gazeuses se sont formées en périphérie: Jupiter, Saturne, Uranus et

Neptune. Et il y a avait une petite planète «trouble-fête» dans ce scénario bien ordonné, Pluton, au sujet de laquelle on ne connaissait pas grand-chose.

Un Système solaire logique

C'est ainsi que s'est forgé dans notre esprit l'idée qu'on devrait retrouver le même type de planètes autour des autres étoiles: de petites planètes rocheuses proches de celle-ci avec des géantes gazeuses à distance.



Un système planétaire bien ordonné : notre Système solaire, le modèle à suivre!

En toute logique, notre Système solaire devrait être le modèle à suivre par bon nombre de systèmes planétaires qu'on allait un jour observer autour des autres étoiles. Ce qui cadre bien avec l'idée qu'on se fait que, de toute façon, nous sommes le centre de l'Univers, donc le modèle à suivre!

9 – Mondes en collision

En étudiant la Lune au télescope, les astronomes ont été intrigués par le nombre incalculable de cratères qu'on retrouve à sa surface. S'agit-il de bouches de volcan?, se demandait-on. La Lune est-elle le théâtre d'un volcanisme nettement plus intense que sur Terre? Si oui, cela signifie que son centre est chaud et qu'il recèle d'importantes quantités de magma (de la roche en fusion).²³

Dans les années 1950, certains astronomes ont même cru apercevoir des

éruptions volcaniques sur la Lune. Mais était-ce bien le cas?²⁴



La Lune est recouverte de cratères : s'agit-il de bouches de volcan ou de l'impact d'astéroïdes?

Un effroyable bombardement?

Or, une autre théorie propose plutôt qu'il pourrait s'agir, en partie du moins, de cratères d'impact. La Lune aurait jadis subi un bombardement de météorites nettement plus intense que la Terre. En effet, sur notre planète, on retrouve peu de cratères d'impact, mais un certain nombre de bouches volcaniques.

Bien entendu, ces deux théories ne s'excluent pas; la Lune pourrait avoir à la fois subi du volcanisme et un bombardement météoritique.

Comment départager les cratères d'impact des bouches de volcan? C'est l'une des grandes questions qu'on cherchait à résoudre dans les années 1960 en allant étudier la Lune de près grâce aux sondes spatiales qui ont photographié sa surface en détail, puis par les équipages d'Apollo. La réponse: on n'a pas repéré à coup sûr de bouches de volcan — peut-être y en a-t-il, mais elles apparaissent rares — tandis

que la surface est jonchée de cratères d'impact.

Bombardement cosmique?

La Lune a donc un jour été l'objet d'un important bombardement par des météorites. Et puisque c'est son cas, pourquoi pas la Terre? Et qu'en est-il des autres planètes?

Ce fut là une révélation majeure puisque, jusqu'aux années 1970, on se refusait généralement à envisager l'idée qu'un intense bombardement cosmique aurait eu lieu dans le Système solaire.²⁵

La logique voudrait même que puisque la Lune a été bombardée sévèrement, la Terre aurait dû l'être bien davantage puisque sa force de gravité, plus intense, a dû attirer bien davantage de météorites. Mais alors, où sont donc passés les cratères d'impact sur Terre? C'est tout juste si on en a repéré quelques-uns (beaucoup moins que des bouches de volcan).

Les méfaits de l'érosion

La différence entre la Terre et la Lune réside dans le fait que notre planète est le théâtre d'une érosion intense qui remodele sans cesse sa surface, effaçant avec le temps les cratères d'impact. En fait, ce que la Lune nous révèle, c'est un passé durant lequel un intense bombardement cosmique a sévi il y a des milliards d'années.

Comme on s'y attendait en l'explorant, la Lune a préservé l'histoire de la formation du Système solaire, effacée depuis longtemps par l'érosion terrestre.

À quoi sert d'aller sur la Lune? À découvrir notre passé!



Vue hollywoodienne d'un immense astéroïde qui s'abat sur notre planète.

10 – Collisions cosmiques, idées apocalyptiques

Le fait est que si, il y a une cinquantaine d'années, on s'objectait à l'idée de collisions cosmiques, celle-ci ne fait plus aucun doute maintenant.

Ce concept a même eu beaucoup de répercussions sur nos vies. C'est ainsi que dans les années 1970 est apparue l'idée que les dinosaures ont disparu il y a environ 66 millions d'années à la suite de l'écrasement d'un astéroïde d'une dizaine de kilomètres de diamètre.²⁶



C'était il y a 66 millions d'années..

C'est alors qu'Hollywood s'est mis à nous bombarder de films mettant en scène de prodigieuses collisions d'astéroïdes avec la Terre, nous faisant subir le même sort que les dinosaures.

Résultat: nous sommes à présent hantés par la crainte qu'une catastrophe venue de l'espace ne s'abatte sur nous. On tente ainsi de repérer «en toute urgence» l'approche d'un tel mastodonte et on rêve de se munir de systèmes capables d'anéantir ou de faire dévier tout astéroïde menaçant.

Pourtant, c'est là une crainte récente, qu'on n'avait pas il y a une cinquantaine d'années. On ignorait tout simplement cette menace. L'image de la disparition des dinosaures, exploitée par Hollywood et par les médias à sensations, nous hante à jamais.

Cependant, sommes-nous véritablement menacés par ce péril? Sommes-nous en danger immédiat?

Ce qu'on ne prend pas suffisamment en compte, c'est que la dernière fois où un gigantesque astéroïde s'est abattu sur Terre, c'était justement il y a 66 millions d'années, au temps des dinosaures. Une telle catastrophe arrive donc très rarement..., pour ne pas dire d'une extrême rareté! Il faudrait donc être terriblement malchanceux pour qu'un événement qui

ne s'est pas produit depuis 66 000 000 d'années survienne à nouveau ces prochaines années ou prochaines décennies. En réalité, les probabilités pour qu'une telle catastrophe survienne de notre vivant sont extraordinairement faibles.

Mais voilà que cette peur génère de bons films... et des budgets pour les agences spatiales et les forces armées qui désirent nous protéger de notre peur... tout en l'alimentant.

11 – D'où vient la Lune?

Une autre répercussion du concept des collisions cosmiques est de nous avoir fourni une nouvelle hypothèse pour expliquer l'origine de la Lune.

Depuis qu'on se questionne sur son origine, nous avons élaboré trois grandes familles d'hypothèses. La Lune pourrait avoir jadis été une planète qui se serait formée autour du Soleil en même temps que les autres planètes et qui aurait par la suite été capturée par la Terre. Ou, la Lune pourrait s'être formée au côté de la Terre, s'accaparant d'une parcelle de la matière qui a servi à constituer notre planète. Ou encore, la Lune pourrait avoir été arrachée de la Terre à la suite d'une collision cosmique. (Nous y voilà!) Certains voient d'ailleurs dans l'Océan pacifique, qui recouvre la moitié du globe, le site d'où aurait été arrachée la matière ayant servi à constituer la Lune.

Or, les géologues qui ont étudié les échantillons lunaires rapportés par les astronautes d'Apollo sont intrigués par le résultat de leurs analyses. À certains égards, la Lune s'assimile beaucoup à la Terre – au point où ce pourrait être un morceau d'elle. Par contre, à d'autres égards, elle présente des différences fondamentales – au point d'être différente à

coup sûr de notre planète. Comment réconcilier ces deux constats?

La meilleure explication qu'on a trouvée pour le moment, c'est que, justement, la Lune se serait formée à la suite de la collision d'un astre de la taille de Mars et qu'on appelle Théia et qui aurait arraché une partie de la croûte terrestre à partir de laquelle se serait assemblé notre satellite naturel.



Au début de sa formation, alors que la Terre était encore en fusion, le planétoïde Théïa serait venu la percuter, donnant naissance à la Lune

Notons toutefois que cette hypothèse, qui permet d'expliquer plusieurs des caractéristiques de la Lune, n'explique pas

tout. Il faut dire qu'en pratique, on a encore beaucoup à apprendre au sujet de la Lune, comme nous le relatons dans le *balado 41, La Lune, cette inconnue*.²⁷ Un

jour, qui sait, nous trouverons peut-être une autre explication sur les origines de notre satellite naturel.

12 – Une Terre bien différente

Lorsqu'on regarde l'image qu'on se faisait de la Terre avant d'aller dans l'espace, on se rend compte au premier coup d'œil qu'on avait une vision erronée de l'apparence de notre planète vue depuis l'espace. Il n'y a qu'à consulter l'album de Tintin *On a marché sur la Lune* pour voir qu'on se la représentait avec peu ou pas de nuages et avec des continents et des océans très distincts.



La Terre imaginée et telle qu'elle apparaît.

Or, l'une des premières découvertes que nous ont fait faire les satellites qui ont photographié notre planète, c'est qu'au contraire, la Terre est ensevelie sous les nuages et qu'il est très difficile de distinguer les terres des océans.

Voilà d'ailleurs qui, au départ, a fortement embêté les militaires qui désiraient utiliser des satellites espions munis de caméras pour voir ce qui se passe en territoire ennemi. La grande majorité des photos prises par ces satellites ne faisaient voir que des nuages. En conséquence, les militaires se sont dotés de satellites météo afin d'être informés des trousés dans les nuages qui permettent à leurs satellites de photographier les installations ennemies.

Ce fut toute une surprise pour eux, de même pour les météorologues. (Ironiquement, les militaires ne s'intéressent pas aux conditions météo de leur pays, mais à celles en territoire ennemi.



L'Afrique vue de l'espace avec, au centre, la Méditerranée et au-dessus, l'Europe.

Prévoir la météo des mois à l'avance

Au début de l'ère spatiale, on se disait que, du moment où on connaîtrait pour l'ensemble de la planète où se trouvent les nuages, dans quelle direction ils filent et à quelle vitesse, on pourrait prédire le temps qu'il fera des jours, des semaines voir des mois à l'avance.²⁸

C'est donc avec beaucoup d'intérêt qu'on a placé sur orbite des satellites météo qui photographient l'ensemble du globe. Et contrairement aux militaires,

les météorologues étaient ravis que leurs satellites repèrent des nuages en quantité.

Aujourd'hui, des dizaines de satellites météo observent sans relâche le déplacement des nuages. Pourtant, on ne sait toujours pas prévoir le temps qu'il fera deux jours à l'avance! Pourquoi donc?

Parce qu'entre-temps, les météorologues et autres spécialistes de l'atmosphère ont découvert que la circulation des nuages est beaucoup plus complexe qu'on s'y attendait. Non seulement y a-t-il dans l'atmosphère quantité de courants allant dans tous les sens, mais on a surtout découvert qu'il y a d'importantes interactions entre l'atmosphère, l'eau des océans et la terre ferme. Il y a en fait tant d'interactions de toutes sortes qu'il devient impossible d'entrevoir ce qui se passera, d'où l'impossibilité de voir venir le temps qu'il fera.



L'ouragan Matthew photographié en 2017.

13 – La Terre vue de la Lune

Curieusement, si dès les années 1960, on a obtenu des images assez fidèles de la Terre, ce n'est qu'en allant jusqu'à la Lune qu'on a véritablement réalisé à quoi elle ressemble réellement. On a alors fait une autre découverte majeure.



L'une des célèbres photos prises par l'équipage d'Apollo 8 le 25 décembre 1968.

En décembre 1968, les astronautes d'Apollo 8 ont fait une observation qui les a bouleversés.²⁹ Parvenus à une centaine de milliers de kilomètres de la Terre, ils ont pris conscience non seulement de la

beauté de notre planète mais surtout de sa fragilité. Les astronautes ont été émus de voir la Terre, qu'ils ont décrit comme un joyau suspendu dans le noir profond de l'espace. Ils en ont été franchement surpris et émerveillés; personne ne s'attendait à cela.

Bien entendu, ils ont pris des clichés inoubliables, notamment ceux de la Terre vue depuis l'horizon lunaire, clichés qui ont fait le tour du monde et qui sont gravés à jamais dans notre imaginaire.

En pratique, les astronautes d'Apollo 8 – les premiers hommes à se rendre à la Lune – venaient de faire la plus importante découverte du programme Apollo: la vulnérabilité de la petite planète que nous habitons.



À gauche, la Terre vue à grande distance par les astronautes d'Apollo 8. À droite, ce «joyau perdu dans l'immensité de l'espace». Deux visions qui ont vivement impressionné ces astronautes.

Écologie 101

On peut aussi ajouter que l'exploration des planètes que nous menons en parallèle avec des sondes spatiales nous a aussi fait réaliser qu'il existe nulle part ailleurs dans le Système solaire un monde habitable semblable au nôtre.

Du coup, les astronautes venaient de nous faire prendre conscience, collectivement, de la nécessité de prendre soin de notre planète. Les photos qu'ils ont ramenées de leur voyage ont prodigieusement alimenté notre conscience environnementale qui était en train de naître et elles ont

donné un joli coup de pouce aux mouvements écologiques.

À la suite des missions Apollo, plus jamais n'avons-nous perçu la Terre comme avant. Une nouvelle conscience venait de s'inscrire en nous. (Il était temps, diront certains!)

Étrange tout de même. L'objectif premier du programme Apollo était d'explorer la Lune, mais la découverte la plus significative aura été la Terre. Comme quoi, lorsqu'on entreprend une recherche, on ne sait jamais ce que nous allons trouver.

14 – Les ingrédients de la vie

L'une des questions que l'on se pose sans cesse en explorant l'espace est bien entendu: y a-t-il de la vie ailleurs autour de nous? C'est ainsi qu'on explore de nombreuses pistes, à commencer par la recherche de mondes propices à la vie.

Une autre avenue empruntée par les astronomes consiste à tenter de repérer la présence des éléments fondamentaux de la vie. Autrement dit: les ingrédients de base nécessaires à la vie abondent-ils dans l'espace ou sont-ils plutôt rares?

Parmi ces ingrédients, il y a le carbone (à la base de tout être vivant sur Terre), l'eau (dans laquelle la vie prend forme) ainsi que la présence de molécules complexes (la vie étant faite de molécules très complexes).

Or, à la grande satisfaction des chercheurs, et même à leur surprise, ils ont découvert que tous ces ingrédients abondent partout dans l'Univers.

C'est ainsi qu'on trouve des molécules d'eau autant dans les nuages de gaz à partir desquels se forment les étoiles et les planètes que sur la plupart des planètes, et particulièrement sur les petits corps célestes que sont les comètes et les astéroïdes. De même pour les molécules complexes: il semble qu'il soit tout à fait «naturel» que des molécules complexes à base de carbone s'assemblent, même au sein des nuages interstellaires.

De même, les météorites – ces «pierres tombées du ciel» qu'on ramasse en quantité sur Terre – contiennent les ingrédients à la base de la vie.³⁰ À un point tel que, selon certaines hypothèses, l'eau et la vie pourraient avoir été apportées sur Terre par des astéroïdes qui s'y seraient abattus lors du bombardement cosmique survenu il y a des milliards d'années.

Des océans où on n'en attendait pas

L'abondance de l'eau étonne même les spécialistes. C'est ainsi qu'on a découvert autour de Jupiter et de Saturne des lunes qui contiennent bien davantage d'eau que la Terre. De plus, l'eau liquide – à la base même de la vie terrestre – se retrouve en abondance sur certaines de ces lunes. Voilà qui change tout.



Une autre découverte qui a surpris les spécialistes: Pluton est composée à moitié d'eau (gelée) et de roche; comme quoi, même aux confins du Système solaire, l'eau abonde.

15 – De la vie ailleurs dans le Système solaire?

Lorsqu'au 18^e et au 19^e siècles, on a pris conscience que la Terre est une planète comme les autres qui circulent autour du Soleil, on s'est vite mis à imaginer que toutes les planètes du Système solaire pourraient être habitées. Il n'y a qu'à lire la littérature débordante d'imagination des siècles passés.

Hélas, avec le temps, on a réalisé que sur la majorité des planètes, les conditions ne sont pas propices à la vie, soit qu'il y fait trop chaud (sur Mercure) ou trop froid, sur Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Restaient cependant la Lune, Mars et Vénus, où les températures sont possiblement tempérées. On s'est cependant rendu compte que sur la Lune, il n'y a pas d'atmosphère, ce qui exclut toute possibilité de vie, tandis que sur Vénus, l'atmosphère est au contraire si dense qu'elle engendre des températures dépassant les 450°. (Écoutez à ce sujet le

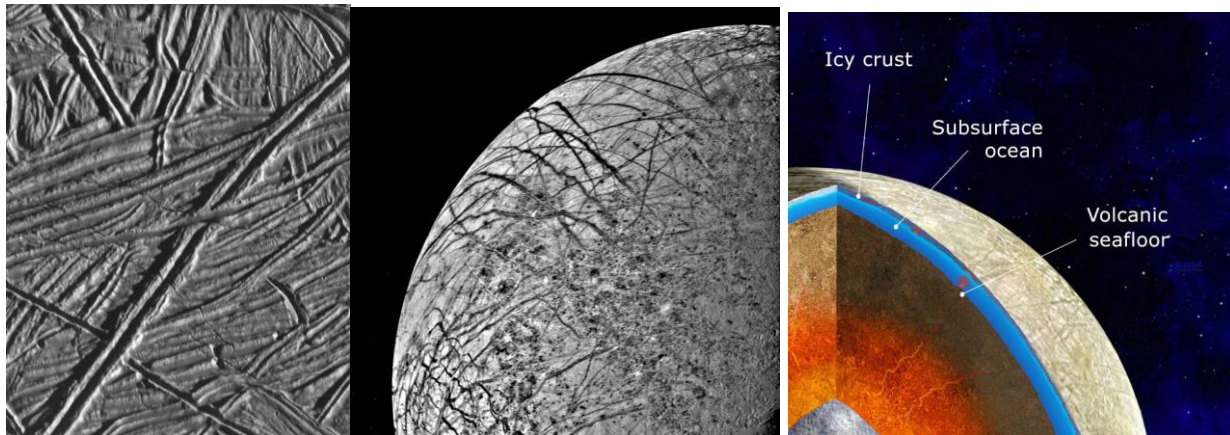
balado 75, Mystères vénusiens.³¹) Quant à Mars, il y fait très froid (température moyenne: -63°), alors que l'atmosphère est trop ténue; en pratique, les conditions de vie sont plus favorables au sommet de l'Everest que n'importe où sur Mars! (Pour rappel, la température moyenne sur Terre est de 15°, 78° de plus que sur Mars.)

On s'est donc fait à l'idée, en explorant les planètes à partir des années 1960, qu'il n'y avait aucune vie en dehors de la Terre – à l'exception peut-être de micro-organismes sur Mars.

D'invraisemblables mondes habitables?

Mais voilà que dans les années 1990 et 2000, notre vision a été bouleversée par la découverte de l'existence d'importants océans sur certaines lunes de Jupiter et de Saturne. En effet, les sondes Galileo et

Cassini ont découvert que, sous des couches de glace de plusieurs dizaines de kilomètres d'épaisseur sur Ganymède, Europe, Callisto et Encelade se cachent des océans mesurant des centaines de kilomètres d'épaisseur et dans lesquelles les conditions pourraient être propices à une vie marine.³²



En 1997, la sonde Galileo a fait une découverte sensationnelle: la surface d'Europe, l'une des principales lunes de Jupiter, est recouverte «d'autoroutes de glace» (à gauche). Sa surface a les allures d'une coquille d'œuf craquelée (au centre). En fait, Europe est recouverte d'une épaisse couche de glace qui recouvre un océan profond d'une bonne centaine de kilomètres (à droite).

Cette découverte a jeté par terre les spécialistes qui estimaient qu'au-delà de Mars, il fait beaucoup trop froid pour que la vie soit possible. Mais voilà que la découverte de manteaux de glace autour de certaines lunes rend possible l'existence d'océans.

C'est là une découverte fantastique puisqu'il y a au moins quatre autres endroits dans le Système solaire où la vie pourrait être possible, ce qu'on n'imaginait aucunement il y a quelques décennies à peine. Il s'agirait toutefois d'une vie fort différente de la nôtre.

Mais jusqu'à quel point une vie s'est-elle développée dans les profondeurs océaniques de Ganymède, d'Europe, de Callisto et d'Encelade?

La difficulté pour répondre à cette question réside dans le fait que cette vie se cache sous des dizaines de kilomètres de glace. Or, sur Terre, malgré tous nos outils pour creuser le sol — l'exploitation des mines — nous sommes incapables de descendre à plus d'une dizaine de kilomètres de profondeur. Quand/comment parviendrons-nous à percer des dizaines de kilomètres de glace pour atteindre les océans des lunes de Jupiter et de Saturne?

Et qui sait même, peut-être y a-t-il d'autres sites non encore repérés dans le Système solaire qui recèlent un potentiel de vie? Ce pourrait être le cas sur certains astéroïdes, dont Cérès, où aux abords d'Uranus, de Neptune et de Pluton — des planètes qu'on a si peu explorées.

16 – Des exoplanètes qui nous défient?

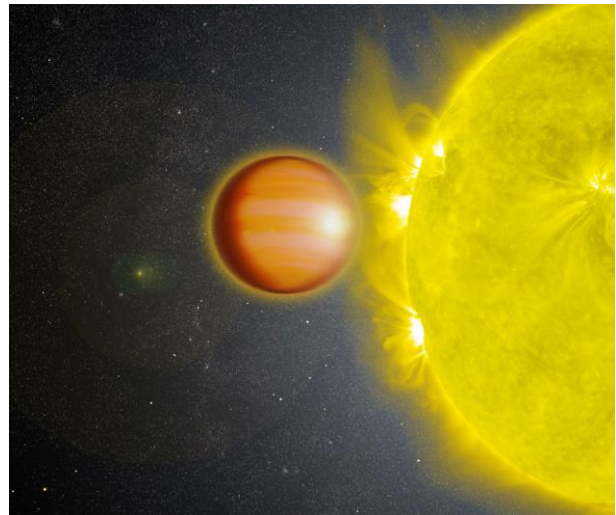
Depuis qu'on a pris conscience que le Soleil est une étoile entourée de planètes, on s'est imaginé que d'autres étoiles devraient lui ressembler. On se demandait cependant si c'était là un phénomène courant – naturel pour l'étoile d'être entourée de plusieurs planètes – ou plutôt rare. La grande majorité des étoiles possèdent-elles des planètes, ou est-ce l'exception?, se demandait-on.

On s'est aussi plu à imaginer que, dans le cas où des étoiles posséderaient des planètes, celles-ci devaient probablement ressembler aux planètes du Système solaire. C'est-à-dire qu'on s'attendait à trouver de petites planètes rocheuses orbitant relativement proches de leur étoile, avec des géantes gazeuses à distance. Après tout, la configuration du Système solaire nous paraît si logique.

Une *Jupiter chaude* troublante

C'est ainsi qu'en 1995, on a découvert une première planète autour d'une étoile semblable au Soleil, 51 Pegasi, située à 50 années-lumière de nous, en direction de la constellation de Pégase. Or, ô surprise, il s'agit d'une gigantesque planète, de la taille de Jupiter, qui gravite huit fois plus proche de son étoile que ne le fait Mercure autour du Soleil. C'est dire qu'il fait *extrêmement* chaud où gravite cette planète, les températures dépassent les 1000°. Cette planète, qu'on appelle 51 Pegasi b ou encore Dimidium, fait le tour de son étoile en un peu plus de quatre jours, tandis que Mercure en prend 88 jours.³³

En fait, selon notre compréhension des choses, une telle planète ne devrait pas exister, surtout une grosse planète gazeuse, car il fait beaucoup trop chaud si proche d'une étoile. Pourtant, on a depuis repéré des centaines de planètes de ce type, qu'on appelle des *Jupiter chaudes*.



Comment une planète peut-elle exister si proche de son étoile? C'est pourtant le cas de 51 Pegasi b ainsi que des centaines de «Jupiter chaudes» qu'on a découvertes.

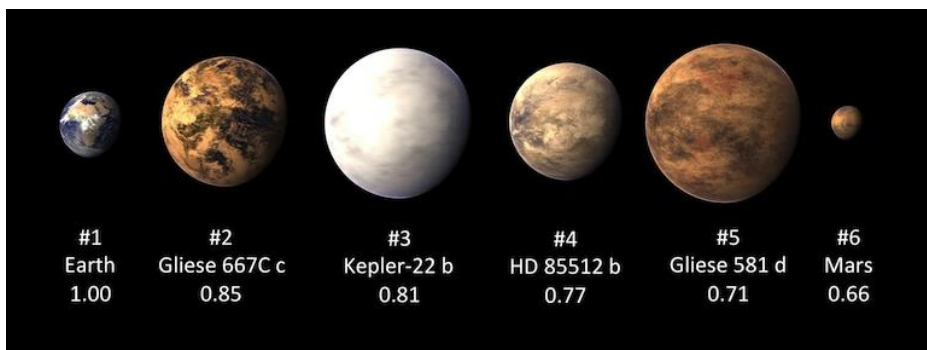
Pauvre en diversité planétaire

On a en outre repéré plusieurs autres types de planètes qui n'existent pas dans le Système solaire, notamment des planètes qui font entre une fois et demie et deux fois la taille de la Terre et qui sont recouvertes d'océans faisant des centaines de kilomètres d'épaisseur. (Nos océans ne font que quelques kilomètres seulement.)

Il est amusant de se rappeler qu'il n'y a pas si longtemps, on considérait qu'il n'existait que deux types de planètes : les petites planètes rocheuses et les géantes gazeuses. Mais voilà qu'on découvre une gamme complète de planètes, allant de la taille de la Lune jusqu'à des planètes d'une douzaine de fois plus grosses que

Jupiter. Nous réalisons alors que notre Système solaire est pauvre en diversité planétaire.

Pas un modèle universel



Un échantillon de la diversité des planètes qu'on a découvertes.

Nous sommes par ailleurs à la recherche de systèmes planétaires calqués sur le nôtre — le modèle qu'on croyait répandu.

Or, on découvre de tout... sauf quelque chose qui ressemble à notre Système solaire. Ce n'est pas pour dire que des systèmes planétaires reprenant le modèle du

nôtre n'existent pas, mais que, chose certaine, ce n'est pas la norme.

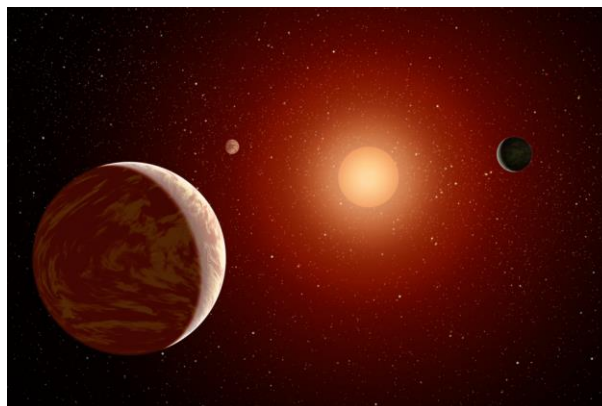
Par contre, une découverte très rassurante qu'on a faite: la grande majorité des étoiles semblent posséder des planètes. Voilà qui ouvre de formidables perspectives.

17 — Des étoiles pas comme la nôtre

Dans le même esprit, on a longtemps considéré que le Soleil était une étoile représentative de l'ensemble des étoiles. On estimait que le Soleil était dans la moyenne, c'est-à-dire qu'il y avait autant d'étoiles plus petites que d'étoiles plus grosses.

On a cependant réalisé avec le temps que c'est loin d'être le cas puisque les étoiles de la taille du Soleil ne représentent que 7% de toutes celles qui peuplent notre galaxie.

Par contre, on retrouve dix fois plus d'étoiles qui sont environ dix fois plus petites que le Soleil et qu'on appelle des *naines rouges*. À elles seules, ces étoiles constituent 75% de toutes les étoiles de la Voie lactée. Mais à cause de leur petite taille, elles émettent beaucoup moins de lumière et de chaleur que le Soleil et elles sont par conséquent difficiles à repérer. (Ce ne sont pas ces étoiles qu'on voit briller au firmament, même si certaines figureront parmi les plus proches de nous.)



Une planète gravitant autour d'une naine rouge.

Système à plusieurs étoiles

Il y a par ailleurs une autre caractéristique qui différencie le Soleil de la plupart des étoiles de notre galaxie: le fait qu'il s'agisse d'une étoile solitaire, tandis que

la majorité des étoiles se tiennent par deux, par trois ou davantage.

Souvent, deux étoiles gravitent l'une proche de l'autre, avec des planètes orbitant autour de ce duo. (Imaginez deux Soleils côte à côte au centre du Système solaire.) Dans d'autres cas, deux étoiles

possédant chacune leur propre cortège de planètes, gravitent à bonne distance l'une de l'autre. Et parfois s'ajoutent une troisième ou une quatrième étoile autour de ces duos... Bref, on découvre tous les cas de figures possibles et, surtout, celui que les étoiles solitaires sont plutôt rares.

18 – De mystérieux phénomènes de haute énergie

À l'été de l'an 1054, une nouvelle étoile apparaît dans le ciel. Elle demeure visible à l'œil nu durant deux ans, son éclat diminuant progressivement.

Chose curieuse: si les Chinois et les Arabes l'ont bien observée, il semble que personne en Europe ne l'ait vue. Ou du moins, on n'a aucune trace d'observation. La raison? C'est qu'à l'époque, on considérait sous la Chrétienté que le ciel était immuable et qu'une étoile ne pouvait pas apparaître comme ça au firmament. (Écoutez à ce propos le balado 123, La science en marche, 1^{ère} partie.) Ce qu'on désigne à présent comme la supernova de 1054 ne pouvait tout simplement pas exister dans l'Europe du Moyen Âge!



Voici les restes de la supernova qui a explosée il y a mille ans et qu'on appelle à présent la nébuleuse du Crabe.

Une supernova, c'est une étoile qui, arrivée en fin de vie, s'effondre sur elle-

même et se met à briller d'un éclat plus intense que des milliers d'étoiles.

Il s'agit du premier «phénomène de haute énergie» qu'on a repéré. Toutefois, depuis une soixantaine d'années, on en a détecté plusieurs autres. Par «phénomène de haute énergie», on entend un événement cosmique qui dégage de prodigieuses quantités d'énergie qui dépassent l'entendement.

Par exemple, en 1967, on a découvert des objets célestes qui émettent de puissants pinceaux d'ondes radio qui balaient l'Univers à la manière de phares. Il s'agit de pulsars, des restes d'étoiles qui ne font que quelques dizaines de kilomètres de diamètre et qui tournent extrêmement rapidement sur eux-mêmes. Au moment de cette découverte, on a cru un temps qu'il pourrait s'agir de balises radio servant à la navigation de civilisations avancées. (Écoutez le balado 70, A-t-on déjà repéré des extraterrestres?³⁴)

Des sursauts d'une puissance inimaginable

On a par ailleurs découvert un type d'explosion dont on s'explique mal la nature, mais qui dégage d'incroyables quantités d'énergie. Il s'agit des sursauts gamma qui étincèlent des centaines de fois plus qu'une supernova et environ un

million de milliards de fois plus que le Soleil! Il s'agit des événements les plus intenses de l'Univers après le Big Bang.³⁵

Ces sursauts gamma sont invisibles à l'œil nu et indétectables depuis la Terre mais repérables à l'aide de satellites équipés de détecteurs gamma. Ces sursauts ne durent que de quelques fractions de secondes à quelques minutes tout au plus, ce qui les rend difficiles à repérer et à étudier.

On ignore comment peut être généré une telle quantité d'énergie si soudaine, mais certains supposent que ce pourrait être la conséquence de l'effondrement d'étoiles géantes qui donne lieu à la formation de trous noirs ou d'étoiles à neutrons, à moins que ce ne soit la fusion de deux étoiles à neutrons ou encore...

Ultimes mystères

Autres phénomènes énergétiques qu'on s'explique encore moins: la matière et l'énergie «noires» qu'on a mis au jour ces dernières décennies.

Dans le cas de la matière noire, il s'agit de quelque chose qui exerce une force d'*attraction* au sein des galaxies. Tout se passe comme s'il y avait six fois plus de matière dans une galaxie que ce qu'on observe. Cette «matière noire» exerce une force gravitationnelle comme le fait la matière visible. Mais de quoi s'agit-il? Peut-être de quelque chose d'autre que de la matière? (Écoutez à ce sujet le balado 44, Matière et énergie «noires».³⁶)

De même, mais à l'opposé, on a découvert de l'«énergie noire». Cette «énergie» exerce une force de *répulsion* entre les galaxies, force qui tend à accélérer l'expansion de l'Univers. Là encore, on ne comprend pas de quoi il s'agit, tout en observant ses effets sur l'ensemble de l'Univers. (Balado 44.³⁷)

La matière et l'énergie «noires» sont à la limite actuelle de nos connaissances et, de toute évidence, on a encore énormément à apprendre au sujet de l'Univers. Et dire qu'on a longtemps cru que celui-ci était tout simplement stable et immuable!

19 – Des milliards de galaxies

Il y a une trentaine d'années, le directeur scientifique du télescope spatial Hubble a utilisé celui-ci pour mener une expérience inusitée: observer une parcelle du firmament pas plus grosse qu'une tête d'épingle (vue de la Terre) et où on présumait n'avoir rien à voir! Qu'allions-nous trouver dans ce «vide cosmique»?

Résultat, après cent heures d'observations minutieuses, le télescope a repéré... 3000 galaxies!³⁸ On a depuis réalisé plusieurs prises de vue du genre — qu'on appelle des photos du champ profond (*deep Fields*) — pour découvrir des quantités astronomiques de galaxies dans d'infimes parcelles de l'espace profond.³⁹

Alors qu'il y a tout juste un siècle, nous pensions que l'Univers se résumait à une Galaxie, nous savons à présent qu'il se compose de milliards de galaxies, peut-être même jusqu'à 2000 milliards de galaxies.⁴⁰



Une portion de l'image prise par le télescope Hubble qui montre des centaines de galaxies dans une parcelle d'espace où, en principe, il n'y avait rien à voir...

D'incroyables collisions

Autre phénomène saisissant. La distance entre les galaxies se mesure généralement en millions d'années-lumière. Pourtant, chose à laquelle on ne s'attendrait pas: on observe des collisions entre galaxies. Comment est-ce possible dans un Univers si vaste? Une partie de la

réponse réside dans le fait que les galaxies s'attirent les unes les autres. Nos télescopes ont même repéré la collision simultanée de plusieurs galaxies.⁴¹

On sait aussi que la galaxie d'Andromède, notre voisine située à 2,4 millions d'années-lumière, se rapproche de nous et que, dans quatre milliards d'années, il y aura collision entre elle et nous.⁴²



Un bel exemple, parmi tant d'autres, de collision entre galaxies.

Comme des nuages...

Mais rassurons-nous, autre phénomène déroutant: la collision entre galaxies ne provoque pas des catastrophes comme l'impact d'un gigantesque astéroïde sur Terre. En fait, une telle collision s'assimile à celle de deux nuages, il y a peu ou

pas du tout de collisions entre les étoiles constituant ces galaxies. Car, contrairement à ce que nous laissent entrevoir les photos de galaxies, celles-ci sont essentiellement constituées de vide, avec de minuscules concentrations de matière que sont les étoiles. (Si on prend notre exemple, le Soleil fait 1,4 million de kilomètres de diamètre, alors que les plus proches étoiles sont à plusieurs années-lumière, soit à plusieurs fois 10 milliards de kilomètres de distance.)

Dans certains cas, il arrive que deux galaxies passent simplement l'une à travers l'autre pour poursuivre leur course. Mais le plus souvent, elles sont déformées par la force de gravité qu'elles s'exercent mutuellement. Parfois aussi, des étoiles sont expulsées alors que d'autres se fusionnent l'une à l'autre. Il y a comme ça dans l'Univers de grosses galaxies qui dévorent de plus petites!

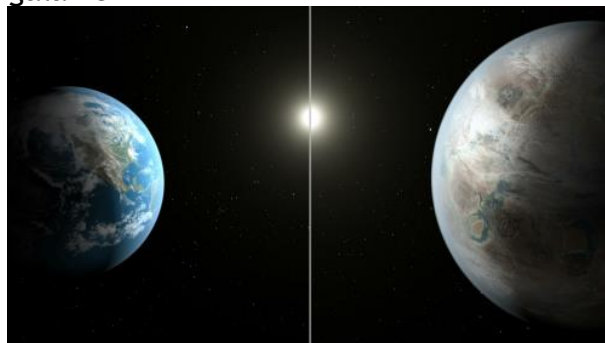
20 – Les paradoxes d'une vie abondante

Ces dernières décennies, on a découvert une multitude d'indices qui nous donnent espoir que non seulement la vie est possible ailleurs dans l'Univers, mais qu'elle pourrait même abonder. Ainsi, on trouve partout les ingrédients de base. On considère aussi que la vie a besoin de planètes tempérées où abondent l'eau, ce qu'on a déjà repéré. Même dans le Système solaire, il y aurait plus d'un endroit propice à la vie.

Voilà qui est non seulement formidablement stimulant mais qu'on ignorait il y a une trentaine d'années à peine. On estime ainsi qu'il pourrait y avoir un nombre incalculable de planètes propices à la vie; certains évoquent déjà des millions de planètes habitables! Voilà qui fait rêver.

Par contre, on a aussi découvert que des planètes très semblables à la Terre risquent d'être plutôt rares puisque la majorité gravitent dans des environnements très différents du nôtre. Ainsi, dès le

départ, les trois-quarts des étoiles de la galaxie



Il pourrait y avoir dans notre galaxie nombre de planètes semblables à la Terre, telle que Kepler

452b (à droite), une planète néanmoins plus grosse que la nôtre (à gauche). étant des naines rouges, celles-ci offrent des environnements très différents du nôtre.

Un bel exemple du genre de planètes qu'on risque de trouver en quantité est Gliese 9827d. Cette exoplanète fait deux fois la taille de la Terre et orbite une naine rouge en 6,2 jours seulement. Elle se trouve à 97 années-lumière de nous, ce qui est proche en termes cosmiques.⁴³



L'idée qu'on se fait de la planète Gliese 9827d.

Or, fait intéressant, GJ 9827d contiendrait énormément d'eau; ce pourrait même être un astre fait à moitié d'eau et à moitié de roche, alors que son atmosphère serait principalement composée de

vapeur d'eau. Par contre, puisqu'elle gravite très proche de son étoile, il y ferait aussi chaud que sur Vénus. On imagine mal que de la vie puisse exister dans de telles conditions, mais puisqu'il y a abondance d'eau, sait-on jamais?

C'est dire que la vaste majorité des exoplanètes qu'on découvre gravitent autour d'étoiles différentes du Soleil. En conséquence, elles sont soumises à des conditions très différentes que ce que nous procure le Soleil. D'où l'idée que la vie ailleurs, si elle est abondante, risque néanmoins d'être très différente de ce qu'on connaît sur Terre.

Ajoutons à cela que la vie terrestre s'est développée à la suite d'un long et sinueux processus d'évolution, processus parsemé d'une multitude d'incidents, incluant des dizaines d'extinctions massives de la vie et qui s'est déroulé sur plus de trois milliards d'années.

Retrouvera-t-on quelque part dans notre galaxie un environnement, des conditions et un processus évolutif suffisamment proches des nôtres pour espérer trouver des êtres relativement semblables à nous? Disons que cela semble peu probable, très peu probable même...

Conclusion: et pourtant, nous nous croyons toujours

Si on fait le bilan de toutes les découvertes astronomiques que nous avons faites ces derniers siècles, il en ressort un constat navrant.

De tout temps, et pour une foule de raisons, nous nous sommes perçu comme étant au centre de l'Univers — au propre comme au figuré.⁴⁴

Comme nous le relatons dans le balado 123, La science en marche, 1^e partie, on se croit immanquablement au centre de l'Univers.

On a ainsi longtemps présumé que la Terre était immobile et que l'Univers tournait autour de nous. On a aussi supposé

que les astres et les divinités gouvernaient nos vies. On a même envisagé que si les planètes tournaient autour du Soleil, celui-ci tournait néanmoins autour de la Terre.

Puis on a cru qu'on habitait au centre de la Galaxie, jusqu'à ce qu'on découvre, dans les années 1920, qu'on habite plutôt en périphérie, loin du centre.⁴⁵

On a aussi estimé que le Soleil était une étoile type et que le Système solaire

représentait le modèle des autres systèmes planétaires.

On s'est aussi imaginé être une créature créée de toute pièce par un Créateur et que celui-ci n'avait de préoccupation que pour nous.

Or, au fur et à mesure que progressent nos connaissances, on découvre systématiquement qu'il n'en est rien.

En réalité, nous habitons une planète quelconque autour d'une étoile ordinaire, en périphérie d'une galaxie parmi des milliards d'autres, etc. Nous sommes en outre issu d'un long processus évolutif qui n'a rien de divin (si fantastique soit-il). Notre place dans l'Univers n'a rien de particulier.

Pourtant, nous persistons à nous croire, d'une façon ou d'une autre, le «centre» de quelque chose. En effet, nombreux sont ceux et celles qui, de nos jours encore, croient que les astres influencent leur vie (astrologie) ou que dieu est à leur écoute (religions). Nous nous croyons aussi au cœur de l'intérêt des civilisations extraterrestres, qui s'intéresseraient tout particulièrement à notre petit monde.



L'Univers se compose de centaines de milliards de galaxies (photo), constituées de centaines de milliards d'étoiles... autour desquelles gravitent un nombre incalculable de planètes.... Bref, on a encore tant à voir et à découvrir.

Et croyance ultime, nous avons la profonde conviction que toute autre forme de vie intelligente doit être calquée sur la nôtre, que les extraterrestres sont nécessairement des humanoïdes comme nous! Aucun doute que la vie intelligente ne puisse adopter d'autres modèles que le nôtre. Comment pourrait-il en être autrement?

Or, la somme de nos connaissances indique tout le contraire. Mais on n'en continue pas moins de se croire quand même «spécial». C'est plus fort que nous. ●

Pour en savoir plus;

Norte: les abondantes références aux articles du *New York Times* servent à situer les dates où nos connaissances ont fait un bond en avant.

- ¹ «Scientists at Odds on Size of Universe», *The New York Times*, 27 avril 1920, p. 5; «Even Einstein's Little Universe Is Big Enough», *The New York Times*, 2 février 1921, p. 1; «Einstein Sees End of Time and Space», *The New York Times*, 4 avril 1921, p. 5; «Universe Multiplied a Thousand Times by Harvard», *The New York Times*, 31 mai 1921, p. 1; «Measure Star Cloud of Immense Size», *The New York Times*, 9 octobre 1922, p. 7; «Find 850 New Nebulae in One Observation», *The New York Times*, 9 avril 1923, p. 4; «The Realm of Empty Space», *The New York Times*, 20 mai 1923, p. XX8; «Astronomers Busy With Enigma of the Universe», *The New York Times*, 20 janvier 1924, p. XX1; Henry Phillips, «It Is Argued That the Universe Is Spherical and Finite», *The New York Times*, 28 décembre 1924, p. XX10.
- ² «Finds Spiral Nebulae Are Stellar Systems», *The New York Times*, 23 novembre 1924, p. 6; Associated Press, «Another Universe Seen by Astronomer; Dr. Hubble Describes Mass of Celestial Bodies 700,000 Light Years Away», *The New York Times*, 22 janvier 1926, p. 2; W. J. Luyten, «Deeper Into Infinity Astronomy Peers», *The New York Times*, 27 mars 1927, p. SM8; «Unsolved Problems of Astronomy», *The New York Times*, 31 juillet 1927, p. 10.
- ³ W. J. Luyten, «Island Universes Charted by Scientists», *The New York Times*, 23 août 1925, p. XM8.
- ⁴ «Finds Spiral Nebulae Are Stellar Systems», *The New York Times*, 23 novembre 1924, p. 6.
- ⁵ «Theory is Advanced of a Limit to Space», *The New York Times*, 29 décembre 1928, p. 1; «New Measurement Given of Universe», *The New York Times*, 20 avril 1929, p. 7; «Speeds of Nebulae Aid Einstein Belief», *The New York Times*, 25 juin 1929, p. 22.
- ⁶ H. Gordon Garbedian, «The Star Stuff That Is Man», *The New York Times*, 11 août 1929, p. SM1; «Mysteries of Skies Listed by Shapley», *The New York Times*, 19 décembre 1929, p. 27.
- ⁷ James Stokley, «Eddington Pictures Expanding Universe», *The New York Times*, 8 septembre 1932, p. 15; Waldemar Kaempffert, «The Week In Science: Our Expanding, or Shrinking, Universe», *The New York Times*, 11 septembre 1932, p. XX4.
- ⁸ William L. Laurence, «Dr. Shapley Depicts Expanding Universe», *The New York Times*, 1^{er} janvier 1931, p. 22.
- ⁹ «Le Maître Suggests One, Single, Great Atom», *The New York Times*, 19 mai 1931, p. 3; «The Exploding Universe», *The New York Times*, 24 mai 1931, p. 1; «A Reversible Universe», *The New York Times*, 21 juin 1931, p. 49.
- ¹⁰ Claude Lafleur, *Georges Lemaître: le père du Big Bang*, Fascicule 58 de *Voyage dans l'espace*, 2021, p. 8-9.
- ¹¹ «Dr. Hubble Gives View of Nature of Universe; Princeton Lecturer Declares Expanding Cosmos Theory Is Not Upheld by Observation», *The New York Times*, 4 novembre 1931, p. 23; Harlow Shapley, «Science at Threshold of a Golden Age in Astronomy», *The New York Times*, 8 novembre 1931, p. XX4; «End of the World Seen in Expansion», *The New York Times*, 8 novembre 1931, p. 27; Waldemar Kaempffert, «Changing Conceptions of the Universe: a Riddle Still», *The New York Times*, 17 avril 1932, p. XX4.
- ¹² «Lemaître Pictures the Universe as Expanding as Parts Contract», *The New York Times*, 21 novembre 1933, p. 1; «This Inflated Universe», *The New York Times*, 22 novembre 1933, p. 18.

-
- ¹³ Waldemar Kaempffert, «The Sun: Mysterious Source of All Life and Energy», *The New York Times*, 16 août 1931, p. 106; Waldemar Kaempffert, «Stars Now Studied for Heat and Light», *The New York Times*, 23 août 1931, p. XX4; «Astronomer Tells Why Stars Explode», *The New York Times*, 9 septembre 1931, p. 17.
- ¹⁴ H. Gordon Garbedian, «Ten Great Riddles that Call for Solution by Scientists», *The New York Times*, 5 octobre 1930, p. XX4.
- ¹⁵ Arthur S. Eve, «Our Power House the Sun; Its Past and Its Future», *The New York Times*, 8 juin 1930, p. 136.
- ¹⁶ «New Radio Waves Traced to Centre of the Milky Way», *The New York Times*, 5 mai 1933, p. 1; «Galactic Radio Waves», *The New York Times*, 6 mai 1933, p. 12; Waldemar Kaempffert, «Dr. Jansky's Study of Static and a New Theory», *The New York Times*, 14 mai 1933, p. 8; «Radio Waves Heard from Remote Space», *The New York Times*, 16 mai 1933, p. 19.
- ¹⁷ NASA, *History of Radio Astronomy*.
- ¹⁸ Arthur C. Clarke, «Messages From The Invisible Universe», *The New York Times*, 30 Novembre 1958, p. SM29.
- ¹⁹ Waldemar Kaempffert, «Science In Review: V-2 Rocket Test Is Expected to Furnish Much Information About the Stratosphere», *The New York Times*, 28 avril 1946, p. E11; «Rocket Rises 75 Miles», *The New York Times*, 29 juin 1946, p. 11; «V-2 Reaches 104 Miles», *The New York Times*, 31 juillet 1946, p. 6; etc.
- ²⁰ Associated Press, «Ninth Planet Discovered on Edge of Solar System», *The New York Times*, 14 mars 1930, p. 1; «Third Planet Found In Modern Times», *The New York Times*, 14 mars 1930; Associated Press, «Star-Finder Tells Story», *The New York Times*, 15 mars 1930.
- ²¹ «May Alter Theories of Solar System», *The New York Times*, 16 mars 1930, p. 8; Waldemar Kaempffert, «New Planet: A Drama of the Skies», *The New York Times*, 23 mars 1930, p. SM3; «Shapley Weighs New Solar Theory», *The New York Times*, 29 décembre 1932, p. 10.
- ²² W. J. Luyten, «New Theory of Solar System Opens Vast Scientific Vista», *The New York Times*, 3 janvier 1932, p. XX4.
- ²³ «Holds Volcanic Ash Covers the Moon», *The New York Times*, 5 octobre 1930; Waldemar Kaempffer, «Again the Moon Poses Its Old Riddle», *The New York Times*, 19 octobre 1930, p. 83,
- ²⁴ «Eruption of a Volcano on Moon Reported by Russian Scientist», *The New York Times*, 13 novembre 1958, p. 1; «A Major Discovery», *The New York Times*, 13 novembre 1958, p. 12; John Hillaby, «Volcano on Moon Is Held Unlikely», *The New York Times*, 14 novembre 1958, p. 6; «New Life on Moon Reported by an Astronomer in Russia», *The New York Times*, 16 novembre 1958; «Red Spot Seen on Moon», *The New York Times*, 21 novembre 1958, p. 15. Etc.
- ²⁵ «Doubts a Collision Gave Planets Birth», *The New York Times*, 19 novembre 1931.
- ²⁶ Malcolm W. Browne, «Doomsday Debate: How Near Is the End?», *The New York Times*, 14 novembre 1978, p. 49.
- ²⁷ Claude Lafleur, *La Lune, cette inconnue*, Fascicule 41 du balado Voyage dans l'espace, 2020.
- ²⁸ «Long Weather Forecasts», *The New York Times*, 10 décembre 1920.

-
- ²⁹ «Small World», *The New York Times*, 24 décembre 1968; UPI, «Photographs Brought Back by Apollo», *The New York Times*, 30 décembre 1968; AP, «Apollo 8 Astronauts Review», *The New York Times*, 31 décembre 1968.
- ³⁰ AP, «Reports Discovery of Life in Meteors», *The New York Times*, 31 janvier 1933; AP, «Chemical Elements of Meteors Disclosed», *The New York Times*, 23 mars 1933, p. 20; «Germs from Space Declared Possible», *The New York Times*, 28 mars 1933, p. 8; «Germs From Space: a Grandiose Theory of Life Borne from Star to Star», *The New York Times*, 2 avril 1933.
- ³¹ Claude Lafleur *Mystères vénusiens*, Fascicule 75 de *Voyage dans l'espace*, 2021.
- ³² Claude Lafleur, *L'actualité commentée: l'exploration du Système solaire, 2ème partie*, Fascicule 104 de *Voyage dans l'espace*, 2023, p. 3-4.
- ³³ Wikipédia, *51 Pegasi b*.
- ³⁴ Claude Lafleur, *A-t-on déjà repéré des extraterrestres?*, Fascicule 70 de *Voyage dans l'espace*, 2021, p. 4-5.
- ³⁵ NASA, *Gamme Burst*.
- ³⁶ Claude Lafleur: *Matière et énergie «noires»*, Fascicule 44 de *Voyage dans l'espace*, 2020, p. 14-20.
- ³⁷ *Matière et énergie «noires»*, p. 20-23.
- ³⁸ NASA, *Hubble's Deep Fields*,
- ³⁹ NASA, «*Hubble's near-infrared camera digs for galactic gold*»
- ⁴⁰ NASA, «*Hubble Reveals Observable Universe Contains 10 Times More Galaxies Than Previously Thought*», 13 octobre 2016.
- »
- ⁴¹ NASA, «*Tumultuous Collision Between Four Galaxies*», 5 juin 2002
- ⁴² NASA, «*Seyfert's Sextet: Four Colliding Galaxies, and Two Bystanders*», 12 décembre 2022 ; «*Hubble Shows Milky Way is Destined for Head-On Collision*», 31 mai 2012.
- ⁴³ NASA, «*Hubble Finds Water Vapor in Small Exoplanet's Atmosphere*», 25 janvier 2024.
- ⁴⁴ H. Gordon Garbedian, «Man's Important Position Related to the Universe», *The New York Times*, 5 avril 1931, p. 126.
- ⁴⁵ «Finds Earth Nearer Milky Way Centre», *The New York Times*, 4 janvier 1931, p. 29.

Les balados de *Voyage dans l'espace*

2018

Balado 1, *Destination Mars*, diffusé le 4 février 2018.

Balado 2, *La Lune au temps d'Apollo*, diffusé le 18 février 2018.

Balado 3, *Sommes-nous seuls dans l'Univers?*, diffusé le 4 mars 2018.

Balado 4, *A quoi sert d'explorer le Système solaire?*, diffusé le 18 mars 2018.

Balado 5, *Satellites militaires, la face cachée du spatial*, diffusé le 1^{er} avril 2018.

Balado 6, *TESS : à la recherche des terres du voisinage*, diffusé le 15 avril 2018.

Balado 7, *Planètes et exoplanètes*, diffusé le 29 avril 2018.

Balado 8, *Voyage, voyage dans l'espace*, diffusé le 13 mai 2018.

Balado 9, *Déchets spatiaux*, diffusé le 27 mai 2018.

Balado 10, *Homme dans l'espace*, diffusé le 10 juin 2018.

Balado 11, *La Voie lactée, notre terrain de jeu*, diffusé le 24 juin 2018 (Fascicule 11).

Balado 12, *Espace 2068, les 50 prochaines*, diffusé le 8 juillet 2018 (Fascicule 12).

Balado 13, *Le jeu des dates*, diffusé le 22 juillet 2018 (Fascicule 13).

Balado 14, *Pluton, la reine des petites planètes*, diffusé le 5 août 2018 (Fascicule 14).

Balado 15, *12 hommes sur la Lune, 1^{ère} partie*, diffusé le 26 août 2018 (Fascicule 15).

Balado 16, *12 hommes sur la Lune, 2^{ème} partie*, diffusé le 9 septembre 2018 (Fascicule 16).

Balado 17, *Vivre à bord de la Station spatiale*, diffusé le 23 septembre 2018 (Fascicule 17).

Balado 18, *Un automne planétaire*, diffusé le 7 octobre 2018 (Fascicule 18).

Balado 19, *Les extraterrestres nous ressemblent-ils?*, diffusé le 21 octobre 2018 (Fascicule 19).

Balado 20, *Voyage dans l'espace au cinéma*, diffusé le 4 novembre 2018 (Fascicule 20).

Balado 21, *Quelles traces laisserons-nous dans l'espace?*, diffusé le 18 novembre 2018 (Fascicule 21).

Balado 22, *Mystères planétaires*, diffusé le 2 décembre 2018 (Fascicule 22).

Balado 23, *Noël 1968*, diffusé le 16 décembre 2018 (Fascicule 23).

2019

- Balado 24, Demain la Lune, diffusé le 10 février 2019 (Fascicule 24).
- Balado 25, À quoi sert l'espace?, diffusé le 24 février 2019 (Fascicule 25).
- Balado 26, Alexeï Leonov, diffusé le 10 mars 2019 (Fascicule 26).
- Balado 27, Parlons de... capsules spatiales, diffusé le 24 mars 2019 (Fascicule 27).
- Balado 28, Viking, la fascinante découverte de la vie sur Mars, diffusé le 7 avril 2019 (Fascicule 28).
- Balado 29, La Grande peur de 1910, diffusé le 5 mai 2019 (Fascicule 29).
- Balado 30, Vingt ans d'exploration spatiale: les astéroïdes, diffusé le 19 mai 2019 (Fascicule 30).
- Balado 31, Des idées pas comme les autres, diffusé le 2 juin 2019 (Fascicule 31).
- Balado 32, Préludes à Apollo 11, diffusé le 16 juin 2019 (Fascicule 32).
- Balado 33, Astronomie 101, diffusé le 30 juin 2019.
- Balado 34, Apollo 11: dans les coulisses de l'histoire, diffusé le 14 juillet 2019 (Fascicule 34).
- Balado 35, Notre Univers époustouflant #1, diffusé le 28 juillet 2019 (Fascicule 35).
- Balado 35, Notre Univers époustouflant #2, diffusé le 11 août 2019 (Fascicule 35).
- Balado 36, Robert Lamontagne: le métier d'astronome, diffusé le 25 août 2019.
- Balado 37, Les surprises de l'été 2019, diffusé le 8 septembre 2019 (Fascicule 37).
- Balado 38, Pourquoi Mars nous obsède-t-elle autant?, diffusé le 6 octobre 2019 (Fascicule 38).
- Balado 39, Où en serons-nous en 2044?, diffusé le 3 novembre 2019 (Fascicule 39).
- Balado 40, L'astronomie par l'image, diffusé le 1^{er} décembre 2019 (Fascicule 40).

2020

- Balado 41, La Lune, cette inconnue, diffusé le 5 janvier 2020 (Fascicule 41).
- Balado 42, La grande aventure des Voyager #1, diffusé le 2 février 2020 (Fascicule 42).
- Balado 43, La grande aventure des Voyager #2, diffusé le 1^{er} mars 2020 (Fascicule 43).
- Balado 44, Matière et énergie «noires», diffusé le 5 avril 2020 (Fascicule 44).
- Balado 45, Voyage dans le Système solaire, diffusé le 3 mai 2020.
- Balado 46, Et si ça c'était passé autrement..., diffusé le 7 juin 2020 (Fascicule 46).
- Balado 47, A l'assaut de la planète Mars, diffusé le 5 juillet 2020 (Fascicule 47).

Balado 48, Exoplanètes, de nouvelles planètes incroyables, diffusé le 2 août 2020 (Fascicule 48).

Balado 49, La grande aventure des Voyager #3, diffusé le 6 septembre 2020 (Fascicule 49).

Balado 50, Le 50e balado: bilan et perspectives, diffusé le 4 octobre 2020.

Balado 51, Prochains lancements d'astronautes... et de touristes, diffusé le 18 octobre 2020.

Balado 52, Les galaxies: aux frontières de la cosmologie, diffusé le 1^{er} novembre 2020 (Fascicule 52).

Balado 53, Le Système solaire n'est plus ce qu'il était..., diffusé le 15 novembre 2020 (Fascicule 53).

Balado 54, Le métier d'astronaute, diffusé le 6 décembre 2020 (Fascicule 54).

Balado 55, L'étrange monde des étoiles, diffusé le 20 décembre 2020 (Fascicule 55).

2021

Balado 56, Le monde méconnu des étoiles, diffusé le 17 janvier 2021 (Fascicule 56).

Balado 57, Les faits saillants de 2020 et de 2021, diffusé le 7 février 2021.

Balado 58, Georges Lemaître: le père du Big Bang, diffusé le 21 février 2021 (Fascicule 58).

Balado 59, Vie et mort du Soleil, diffusé le 7 mars 2021 (Fascicule 59).

Balado 60, Paul Houde, chasseur d'éclipses, diffusé le 21 mars 2021 (Fascicule 60).

Balado 61, Pourquoi le futur n'est jamais comme on l'imagine?, diffusé le 4 avril 2021 (Fascicule 61).

Balado 62, Dans les secrets de la cosmonautique soviétique, diffusé le 18 avril 2021 (Fascicule 62).

Balado 63, L'ultime destin du Soleil: un trou noir?, diffusé le 2 mai 2021 (Fascicule 63).

Balado 64, Qu'est-ce que ce serait que de vivre sur Mars?, diffusé le 16 mai 2021 (Fascicule 64).

Balado 65, Carte blanche, diffusé le 6 juin 2021.

Balado 66, Dormir en apesanteur, diffusé le 20 juin 2021 (Fascicule 66).

Balado 67, Les trous noirs, de la fiction à la réalité, diffusé le 9 juillet 2021 (Fascicule 67).

Balado 68, Le tourisme spatial: la nouvelle course à l'espace, diffusé le 18 juillet 2021 (Fascicule 68).

Balado 69, Ciel nocturne, diffusé le 1^{er} août 2021.

Balado 70, A-t-on déjà repéré des extraterrestres?, diffusé le 5 septembre 2021 (Fascicule 70).

Balado 71, Artemis: le rêve du retour sur la Lune, diffusé le 19 septembre 2021 (Fascicule 71).

Balado 72, Espace 101, diffusé le 2021.

Balado 73, La Lune et Mars: pourquoi est-ce si long?, diffusé le 17 octobre 2021 (Fascicule 73).

Balado 74, Un petit pas pour l'homme, diffusé le 7 novembre 2021.

Balado 75, Mystères vénusiens, diffusé le 21 novembre 2021 (Fascicule 75).

Balado 76, Questions de nos auditeurs, diffusé le 5 décembre 2021.

Balado 77, Le télescope spatial Webb, diffusé le 19 décembre 2021 (Fascicule 77).

2022

Balado 78, Bilan 2021, perspectives 2022, diffusé le 2 janvier 2022 (Fascicule 78).

Balado 79, Big Bang 101, diffusé le 16 janvier 2022 (Fascicule 79).

Balado 80, Notre place dans l'Univers 2500 ans d'histoire, diffusé le 6 février 2022 (Fascicule 80).

Balado 81, Les lunes du Système solaire, diffusé le 20 février 2022.

Balado 82, La Relativité, diffusé le 6 mars 2022 (Fascicule 82).

Balado 83, La Navette spatiale 1^{ère} partie, diffusé le 20 mars 2022.

Balado 84, La Navette spatiale, 2^{ème} partie, diffusé le 3 avril 2022.

Balado 85, Le fantôme des grosses fusées, diffusé le 17 avril 2022 (Fascicule 85).

Balado 86, Les soucoupes volantes existent-elles?, diffusé le 1^{er} mai 2022 (Fascicule 86).

Balado 87, L'année 1972, 1^{ère} partie, diffusé le 15 mai 2022 (Fascicule 87).

Balado 89, Sagittarius A*: comprendre ce que l'on voit, diffusé le 29 mai 2022 (Fascicule 89).

-
- Balado 88, L'année 1972, 2^{ème} partie, diffusé le 19 juin 2022 (Fascicule 88).
- Balado 90, L'actualité commentée, diffusé le 3 juillet 2022 (Fascicule 90).
- Balado 91, L'astrophotographie, diffusé le 17 juillet 2022 (Fascicule 91).
- Balado 92, Les mystères de nos origines, diffusé le 21 août 2022 (Fascicule 92).
- Balado 94, Spécial Artemis 1, diffusé le 2022.
- Balado 93, Homme ou robot?, diffusé le 18 septembre 2022 (Fascicule 94).
- Balado 95, Destins d'astronaute... des années 1960, diffusé le 2 octobre 2022 (Fascicule 95).
- Balado 96, Destins d'astronaute... d'aujourd'hui, diffusé le 16 octobre 2022 (Fascicule 96).
- Balado 97, L'année spatiale 1962, 1^e partie, diffusé le 6 novembre 2022 (Fascicule 97).
- Balado 98, L'année spatiale 1962, 2^e partie, diffusé le 20 novembre 2022 (Fascicule 98).
- Balado 99, L'astrologie, une croyance passée date, diffusé le 4 décembre 2022 (Fascicule 99).
- Balado 100, Le Centième balado, diffusé le 18 décembre 2022.
- 2023**
- Balado 101, En temps réel, l'alunissage d'Apollo 11, diffusé le 8 janvier 2023.
- Balado 102, L'actualité 2022 commentée: homme dans l'espace, diffusé le 22 janvier 2023 (Fascicule 102).
- Balado 103, L'actualité commentée: l'exploration du Système solaire, 1^{ère} partie, diffusé le 5 février 2023 (Fascicule 103).
- Balado 104, L'actualité commentée: l'exploration du Système solaire, 2^{ème} partie, diffusé le 19 février 2023 (Fascicule 104).
- Balado 105, Webb, les premiers pas..., diffusé le 5 mars 2023 (Fascicule 105).
- Balado 106, Wernher von Braun, l'époque allemande, diffusé le 19 mars 2023 (Fascicule 106).
- Balado 107, Wernher von Braun, l'époque américaine, diffusé le 2 avril 2023 (Fascicule 107).
- Balado 108, La reconquête de la Lune, diffusé le 16 avril 2023 (Fascicule 108).

-
- Balado 109, Nous cache-t-on des choses?, diffusé le 7 mai 2023 (Fascicule 109).
- Balado 110, La recherche de vie dans notre galaxie, diffusé le 21 mai 2023 (Fascicule 110).
- Balado 111, Saliout-Skylab, l'ultime course à l'espace, diffusé le 4 juin 2023 (Fascicule 111).
- Balado 112, Que penser de tous ces beaux rêves d'espace?, diffusé le 18 juin 2023 (Fascicule 112).
- Balado 113, Qu'advient-il de tout ce qu'on lance dans l'espace?, diffusé le 2 juillet 2023 (Fascicule 113).
- Balado 114, L'astronomie participative, diffusé le 16 juillet 2023 (Fascicule 114).
- Balado 115, Un certain regard sur l'actualité, diffusé le 20 août 2023 (Fascicule 115).
- Balado 116, Que voit-on depuis l'espace?, diffusé le 3 septembre 2023 (Fascicule 116).
- Balado 117, Planètes: des plus petites aux plus gigantesques, diffusé le 17 septembre 2023 (Fascicule 117).
- Balado 118, Les objets «bizarres» du Système solaire, diffusé le 1^{er} octobre 2023 (Fascicule 118).
- Balado 119, Introduction au programme spatial chinois, diffusé le 15 octobre 2023 (Fascicule 119).
- Balado 120, Des Chinois sur la Lune?, diffusé le 6 novembre 2023 (Fascicule 120).
- Balado 121, Cosmologie, des concepts hallucinants..., diffusé le 20 novembre 2023 (Fascicule 121).
- Balado 122, Les objets bizarres de notre Univers, diffusé le 3 décembre 2023 (Fascicule 122).
- Balado 123, La science en marche, 1^e partie, diffusé le 17 décembre 2023 (Fascicule 123).
- 2024
- Balado 124, La science en marche, 2^e partie, diffusé le 7 janvier 2024 (Fascicule 123).
- Balado 125, Comment nomme-t-on les astres du firmament?, diffusé le 21 janvier 2024 (Fascicule 125).
- Balado 126, Actualité: stations orbitales et tourisme spatial, diffusé le 4 février 2024 (Fascicule 126).

Balado 127, Actualité: l'année du retour à la Lune, diffusé le 18 février 2024 (Fascicule 127).

Balado 128, Sergueï Korolev, comment tout a commencé, diffusé le 2024 (Fascicule 128).

Balado 129, Sergueï Korolev: triomphes et misères..., diffusé le 17 mars 2024 (Fascicule 129).

Balado 130, 1924, l'année où l'Univers a «éclaté», diffusé le 7 avril 2024.

Balado 131, Vingt découvertes qui changent tout, diffusé le 21 avril 2024 (Fascicule 131).