

**VOYAGE
DANS
L'ESPACE**

Épisode

110

**LA RECHERCHE DE VIE
DANS NOTRE GALAXIE**



Qu'avons-nous trouvé et que cherche-t-on?

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 du son, **Laurent Runigo**, infirmier et **Mathieu Rancourt**, géographe et professionnel de recherche.

En couverture



L'espace vue depuis la Station spatiale internationale fait rêver: où y a-t-il de la vie par-delà la mince couche de notre atmosphère (la bande bleue visible au bas)?

L'équipe de *Voyage dans l'espace*:

Claude Lafleur, contenu

Florent Meunier, animation et montage

Laurent Runigo, médias sociaux

Mathieu Rancourt, soutien technique

[Les balados](#) ; [Abonnement](#) ; [Courriel](#).

[Facebook](#) ; [YouTube](#) ; [Instagram](#).

L'équipe des fascicules:

Rédaction: Claude Lafleur

Couverture: Florent Meunier

Illustrations: NASA,

© Copyright, Claude Lafleur, 2023

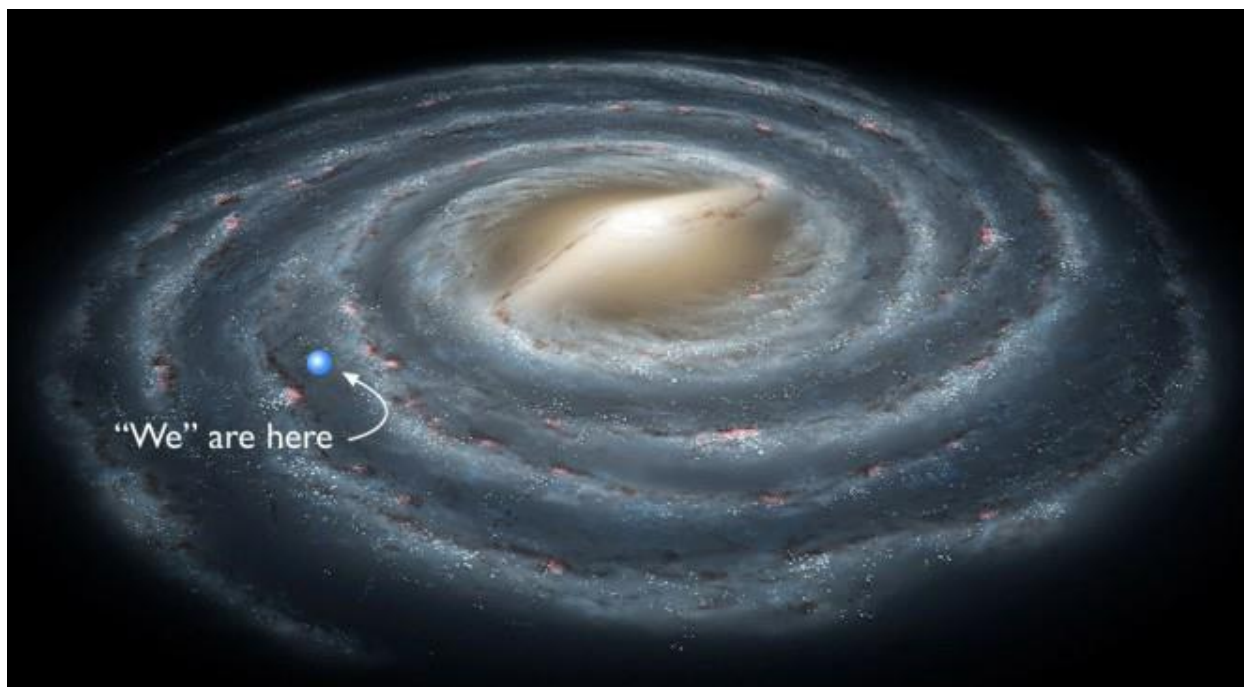
ISBN 978-2-925106-97-5 (pdf)

ISBN 978-2-925106-98-2 (kindle)

Dépôt légal:

Bibliothèque nationale du Québec, 2023

Bibliothèque nationale du Canada, 2023



Notre galaxie, la Voie lactée, constituée de centaines de milliards d'étoiles et de bien davantage de planètes... Combien d'entre elles recèlent possiblement de la vie?

La recherche de vie dans notre galaxie

Écoutez le balado *La recherche de vie dans notre galaxie* diffusé le 21 mai 2023.
Texte de Claude Lafleur.

Y a-t-il de la vie ailleurs dans l'Univers?

Il y a deux façons d'aborder cette question. La première consiste à y aller selon nos croyances et convictions profondes: «Bien sûr qu'il y a de la vie ailleurs, puisqu'il est impensable que nous soyons seuls dans l'Univers!», se dit-on.

La seconde est par la méthode scientifique. Or, en science, rien n'est acquis avant d'avoir été démontré. Et le seul exemple de vie qu'on connaisse dans l'Univers se trouve ici sur Terre. Peut-

être y en a-t-il ailleurs, peut-être même près de nous dans notre Système solaire, mais cela n'a encore, en aucun cas, été démontré scientifiquement.

C'est bien sûr une question qui fascine autant les scientifiques que nous du grand public, comme le relate le *Decadal Survey* publié en mai 2022 par l'Académie des sciences des États-Unis.¹ Cet ouvrage de référence fait le tour d'horizon de nos plus récentes connaissances en astronomie.

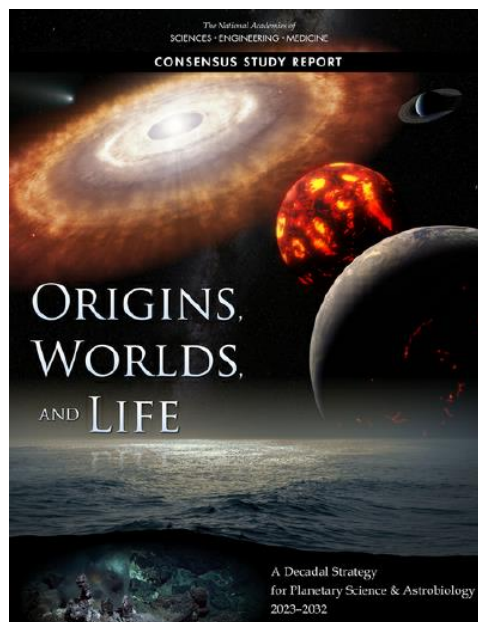
¹ Le titre exact de cet ouvrage

Rédigé par une foule d'experts, cette analyse considère que nous pourrions être à l'aube d'une formidable révolution: «Quatre cents ans après que Galilée eut révolutionné notre compréhension de notre place dans l'Univers, écrit-on, nous pourrions être la génération qui déclenchera une nouvelle révolution scientifique, cette fois en biologie.»

Nous avons en effet le privilège d'aborder cette question comme jamais auparavant grâce à une formidable batterie de télescopes terrestres et spatiaux et de sondes qui explorent le Système solaire. (Écoutez à ce sujet les balados [103](#), [104](#) et [105](#).¹)

Ce qui est fascinant lorsqu'on parcourt les pages du *Decadal Survey*, c'est de constater à quel point nous traitons cette question sous une multitude d'angles à la fois. Notamment, nous apprenons énormément concernant les origines de la vie à partir des recherches que nous menons ici sur Terre. De même, l'exploration du Système solaire nous en apprend énormément sur les possibilités de vie qui pourrait exister sur d'autres planètes. Et c'est sans oublier les télescopes qui ont repéré des milliers d'exoplanètes tout en observant la formation des étoiles et des planètes au sein des nuages de matière qui pullulent à travers notre galaxie. Bref, les possibilités de vie nous apparaissent maintenant un peu partout.

En même temps, ces recherches nous en apprennent beaucoup sur nous, sur comment la vie est apparue sur Terre, comment elle a évolué et à quel point elle pourrait être répandue dans l'Univers, sur quel type de planètes elle pourrait exister, dans quelles conditions, etc. Et ce ne



Le *Decadal Survey*, la «bible» des astronomes.

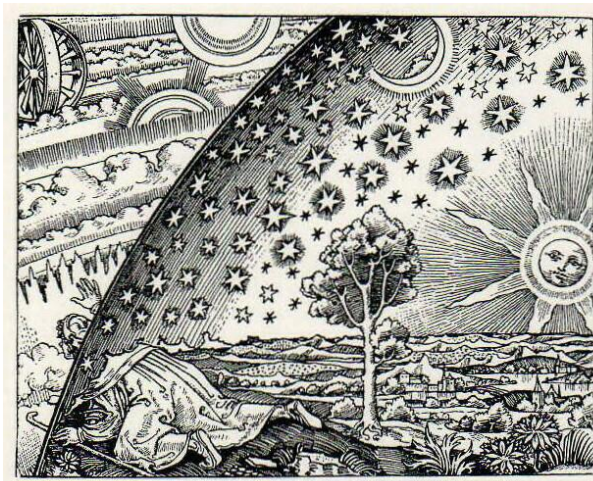
sont là que quelques-unes des avenues que nous explorons.

Le *Decadal Survey* propose même de réfléchir à deux questions troublantes: et si au bout du compte, on trouvait «tout autre chose» que ce que l'on espère? Ou, plus surprenant encore: et si on ne trouvait pas de vie ailleurs dans notre galaxie?

Cette dernière question peut sembler insensée tant cette réponse nous apparaît inimaginable: impensable que nous soyons seuls dans tout l'Univers, voyons donc!

Mais ce ne serait pas la première fois que la science nous conduit là où nous ne voulons pas aller. Pensons simplement aux travaux de Charles Darwin qui ont mis en évidence le fait que l'humain est un «animal comme les autres» et non pas une créature divine. Pensons aussi à notre profonde croyance à l'effet que, d'une façon ou d'une autre, nous nous considérons au cœur de l'Univers et des préoccupations divines. (Écoutez le balado 99, [L'astrologie, une croyance passée date](#).²)

Voilà ce que nous allons explorer.



Deux visions du monde: durant des millénaires, on a cru qu'on habitait au centre d'un univers sphérique, au cœur d'une Voûte céleste (à gauche), tandis qu'à présent, nous savons que nous gravitons autour d'une étoile, le Soleil, comme une dizaine d'autres grosses planètes.

1 — Perspectives changeantes

La recherche de vie dans l'Univers est une question qui nous fascine depuis des siècles, c'est-à-dire depuis qu'on a pris conscience que nous habitons une planète parmi d'autres et que les étoiles qui brillent au firmament sont comme notre Soleil et que, de ce fait, autour d'elles devraient graviter des planètes plus ou moins semblables à la nôtre — ce qu'on appelle des exoplanètes. Mais si nous considérons que nous observons le firmament depuis des millénaires, c'est là un questionnement très récent, puisqu'il ne remonte qu'à deux ou trois siècles tout au plus. (Écoutez à ce sujet le balado 80, *Notre place dans l'Univers: 2500 ans d'histoire*.³⁾

Au début de l'ère spatiale, il y a une soixantaine d'années, certains scientifiques de haut calibre ont proposé que ce soit même l'objectif numéro un de nos projets d'exploration de l'espace. C'est ainsi qu'à l'été de 1962, un groupe d'experts américains de premier plan considérait que: «La recherche de la vie extraterrestre devrait être l'objectif scientifique prioritaire de notre programme spatial.»⁴

Ceux-ci ont rédigé un important rapport intitulé *A Review of Space Research* qui constitue en quelque sorte l'ancêtre des

Decadal Survey que publie de nos jours la communauté astronomique américaine.

Il y a donc soixante ans, ces spécialistes estimaient que l'intérêt d'une telle recherche reposait «sur des bases scientifiques solides» ainsi que sur «l'attrait populaire indéniable» pour cette question. «Si la vie existe sur une autre planète et que nous la trouvons, cela aura un impact considérable et durable sur tout le monde, peu importe les races et les cultures, qu'on soit scientifique ou non, écrivait-on dans ce rapport. Et nul besoin d'être biologiste pour comprendre ce que pourrait

signifier la découverte d'une vie extraterrestre.»

Ces scientifiques ajoutaient que cette recherche revêt même «un intérêt philosophique bien plus grand que ce qui est à la mode dans les discussions scientifiques des derniers temps». Ils dénonçaient par le fait même la course aux armes nucléaires – jugée par certains comme vitale pour l'avenir de la nation américaine – ainsi que la course à la Lune auxquelles se livraient les États-Unis et l'Union soviétique.

D'ailleurs, au lendemain de l'annonce du programme Apollo par le président Kennedy en mai 1961, plusieurs scientifiques se sont dits consternés, sinon même horrifiés qu'on engloutisse de 20 à 40 milliards \$ dans une telle aventure.⁵

Voilà donc qu'en 1962, un groupe de chercheurs propose plutôt de se concentrer sur la question qui intrigue tout le monde: sommes-nous seuls dans l'Univers? Ou, compte-tenu de la certitude qu'on éprouve à peu près tous, on pourrait plus simplement se demander: mais où donc se trouvent les extraterrestres et comment les repérer?

Dans un éditorial de l'époque, le *New York Times* faisait valoir que: «Cette recommandation illustre le chemin parcouru par l'humanité dans sa réflexion et ses aspirations au cours des cinq années qui se sont écoulées depuis le début de l'ère spatiale. En effet, la notion de vie extraterrestre était jusque-là le domaine des auteurs de science-fiction. Mais voilà que désormais, elle est élevée au rang des sujets d'études scientifiques. Or, il s'agit là, très certainement, d'une révolution majeure dans l'histoire de la pensée humaine.»⁶



À partir des années 1950, les astronomes se mettent à écouter l'Univers à l'aide de radiotélescopes, de grandes antennes qui captent les ondes radio.

De l'écoute...

Notons que depuis les années 1960, «le chemin parcouru par l'humanité dans sa réflexion et ses aspirations» a prodigieusement évolué. À cette époque, en effet, les astronomes qui s'intéressaient à la recherche de vie dans l'Univers proposaient de se mettre à l'écoute du cosmos afin de voir si on ne pourrait pas capter des signaux radio en provenance de civilisations avancées. On discutait aussi beaucoup des possibilités d'établir un contact avec «eux», de quelle façon s'y prendre, quel langage employer, etc. C'était la «belle époque» des projets SETI, pour *Search for Extra-Terrestrials Intelligence*, tels que racontés dans le film *Contact* de 1997.

En parallèle, au sein du grand public déferlait la vague des soucoupes volantes. Si, au début, certains croyaient apercevoir d'étranges objets volants dans le ciel, il ne s'est pas écoulé grand temps avant que

quelques-uns prétendent faire la rencontre d'extraterrestres... venus nous livrer des messages de paix et de sagesse.

À remarquer qu'à cette époque, la seule conception de vie extraterrestre qu'on envisageait était celle d'êtres intelligents, d'apparence humanoïde, avec lesquels on pourrait échanger, soit par l'entremise des ondes radios... sinon même en personne! Mais comme nous le relatons dans les balados 19, *Les extraterrestres nous ressemblent-ils?* et 70, *A-t-on déjà repéré des extraterrestres?*, cette conception apparaît de moins en moins vraisemblable, pour ne pas dire qu'elle tourne en rond. (Écoutez à ce sujet le balado 86, *Les soucoupes volantes existent-elles?*)⁷

...à la compréhension

Mais voilà que tout a changé à partir des années 1990 lorsque les astronomes ont mis au point des méthodes astucieuses pour repérer des planètes autour des autres étoiles. (Écoutez le balado 7, *Planètes et exoplanètes.*)

Grâce à des télescopes de plus en plus performants et travaillant dans différentes longueurs d'onde (visible, infrarouge, radio, etc.), ils se sont également mis à scruter les disques de poussière qui entourent les jeunes étoiles et dans lesquels se forment des planètes.

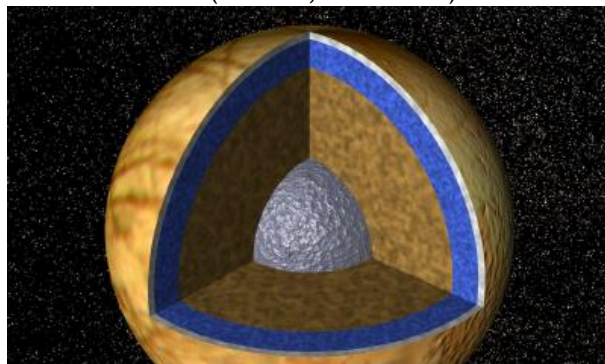
Voilà donc que la recherche de vie extraterrestre se fait désormais sur de nouvelles bases. Au lieu d'espérer capter des signaux extraterrestres, on cherche plutôt à comprendre les mécanismes à la base de la vie. Surtout, on se met à rechercher de la vie sous toutes ses formes – et non plus des humanoïdes.

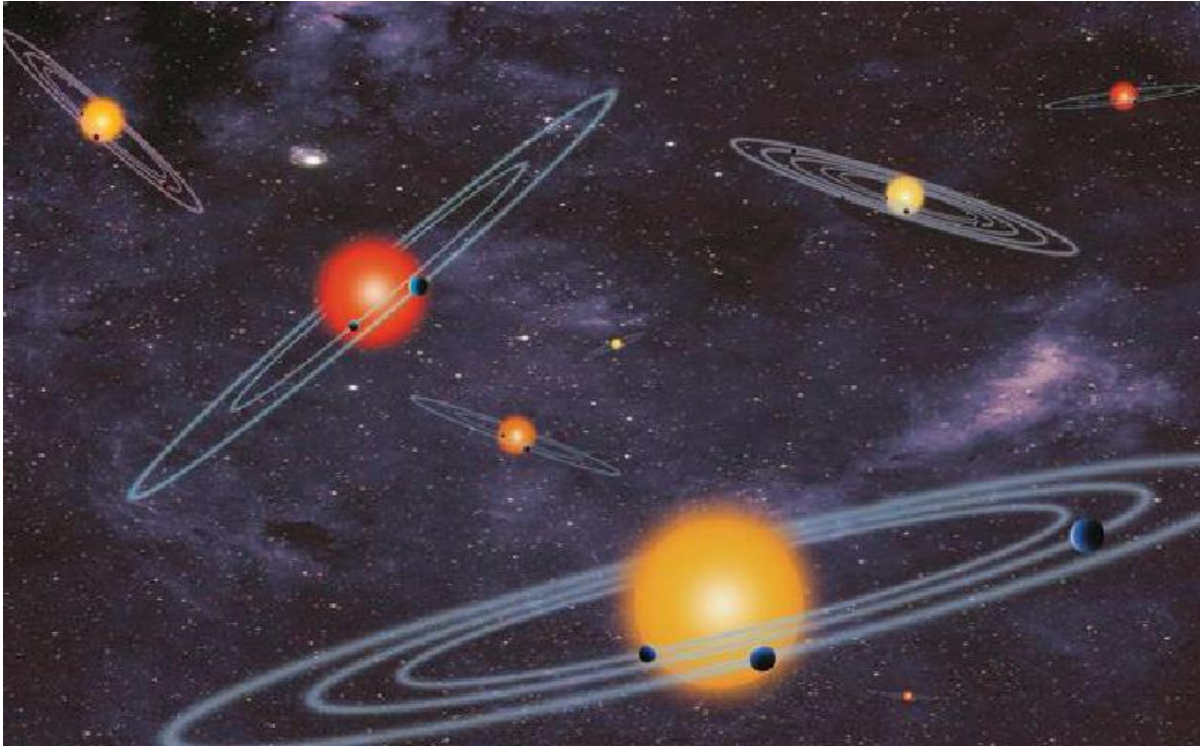
C'est alors qu'on a fait deux découvertes majeures qui ont bouleversé notre vision des choses.

En premier lieu, on a découvert que des conditions favorables à la vie pourraient exister sur certains satellites naturels de Jupiter et de Saturne. C'est ainsi que sous d'épaisses croutes de glace qui entourent Europe, Ganymède et Encelade se trouvent d'importants océans qui pourraient abriter de la vie. Voilà qui a bouleversé l'idée qu'on se faisait jusqu'alors à l'effet que seule la vie pourrait exister dans la zone habitable proche du Soleil, là où gravitent la Terre, Mars et Vénus. Hors de cette zone, point de salut, pensait-on jusqu'à ce moment-là, alors qu'en réalité, il n'en est rien.



En 1979, la sonde Voyager 1 a découvert la surface surprenante, craquelée, d'Europe. On a par la suite réalisé que sous cette surface glacée se trouve un océan (en bleu, ci-dessous).

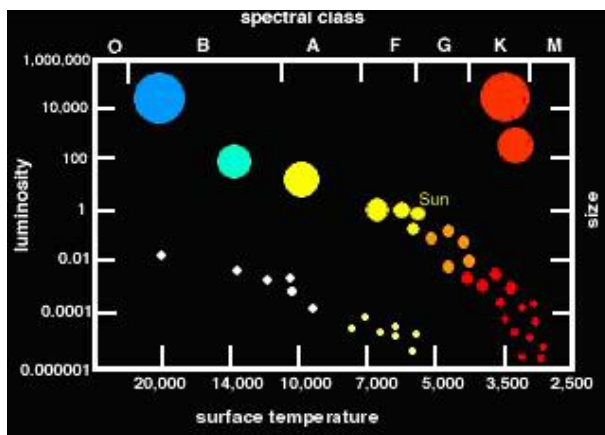




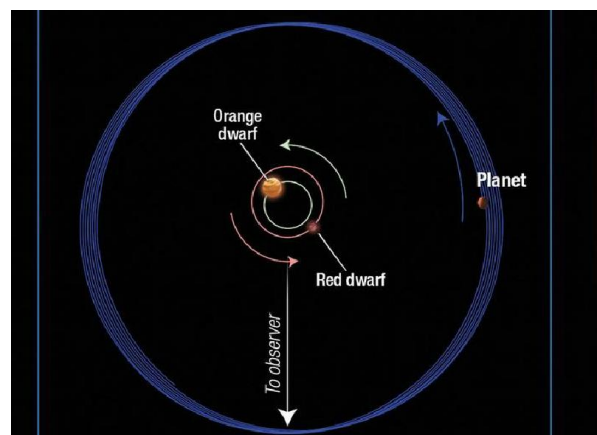
On a depuis découvert une abondance et grande diversité de systèmes stellaires.

D'autre part, on a réalisé que la grande majorité des étoiles sont beaucoup plus petites que le Soleil, ce qui signifie que les probabilités de repérer de la vie risque de l'être autour d'étoiles très différentes du Soleil. Il s'agit par conséquent d'étoiles qui offrent des conditions d'habitabilité très différentes de celles qu'on retrouve autour du Soleil. Voilà qui change tout.

De plus, on savait déjà que la majorité des étoiles se tiennent par deux ou à plusieurs, alors que le Soleil fait partie de la minorité des étoiles solitaires. (Imaginez si, par exemple, Jupiter avait été une étoile, nous orbiterions entre deux étoiles!) Voilà qui, pensait-on, devait changer quelque peu les choses, mais jusqu'à quel point?



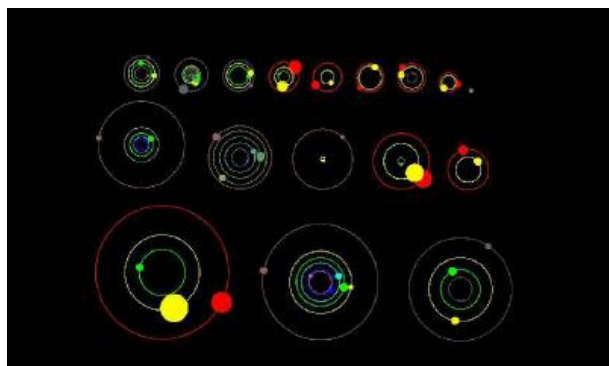
Un étalage de la diversité des étoiles.



Exemple d'un système stellaire composé d'une naine orange et d'une naine rouge.

On s'est même demandé un temps si des planètes pouvaient se former au sein de systèmes d'étoiles multiples — la formation de plusieurs étoiles aurait pu accaparer toute la matière nécessaire à la constitution de planètes, à moins que la force gravitationnelle exercée par plusieurs étoiles n'entrave la naissance même des planètes. Or, si seule les étoiles solitaires possédaient des planètes, voilà qui réduirait considérablement les probabilités de vie dans l'Univers. Mais fort heureusement, on a depuis observé la présence de planètes dans de nombreux systèmes à étoiles multiples.

D'autre part, lorsqu'on s'est mis à repérer des exoplanètes, on s'attendait à retrouver des systèmes planétaires ressemblant au nôtre, c'est-à-dire constitués de petites planètes rocheuses gravitant près de l'étoile et avec des géantes gazeuses gravitant à bonne distance. Or, parmi les centaines de systèmes planétaires découverts à ce jour, on trouve de tout... sauf quelque chose qui ressemble à notre Système solaire! Cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de systèmes planétaires bien ordonnés, mais que ceux-ci apparaissent plutôt rares.



Exemple de systèmes stellaires comportant plus d'une étoile et des planètes.

Bref, si jusqu'aux années 1980, on envisageait repérer de la vie autour d'étoiles semblables au Soleil, au sein de systèmes planétaires semblables au nôtre et dans une zone habitable ni trop proche ni trop éloignée de l'étoile, voilà que nos conceptions ont volé en éclat.

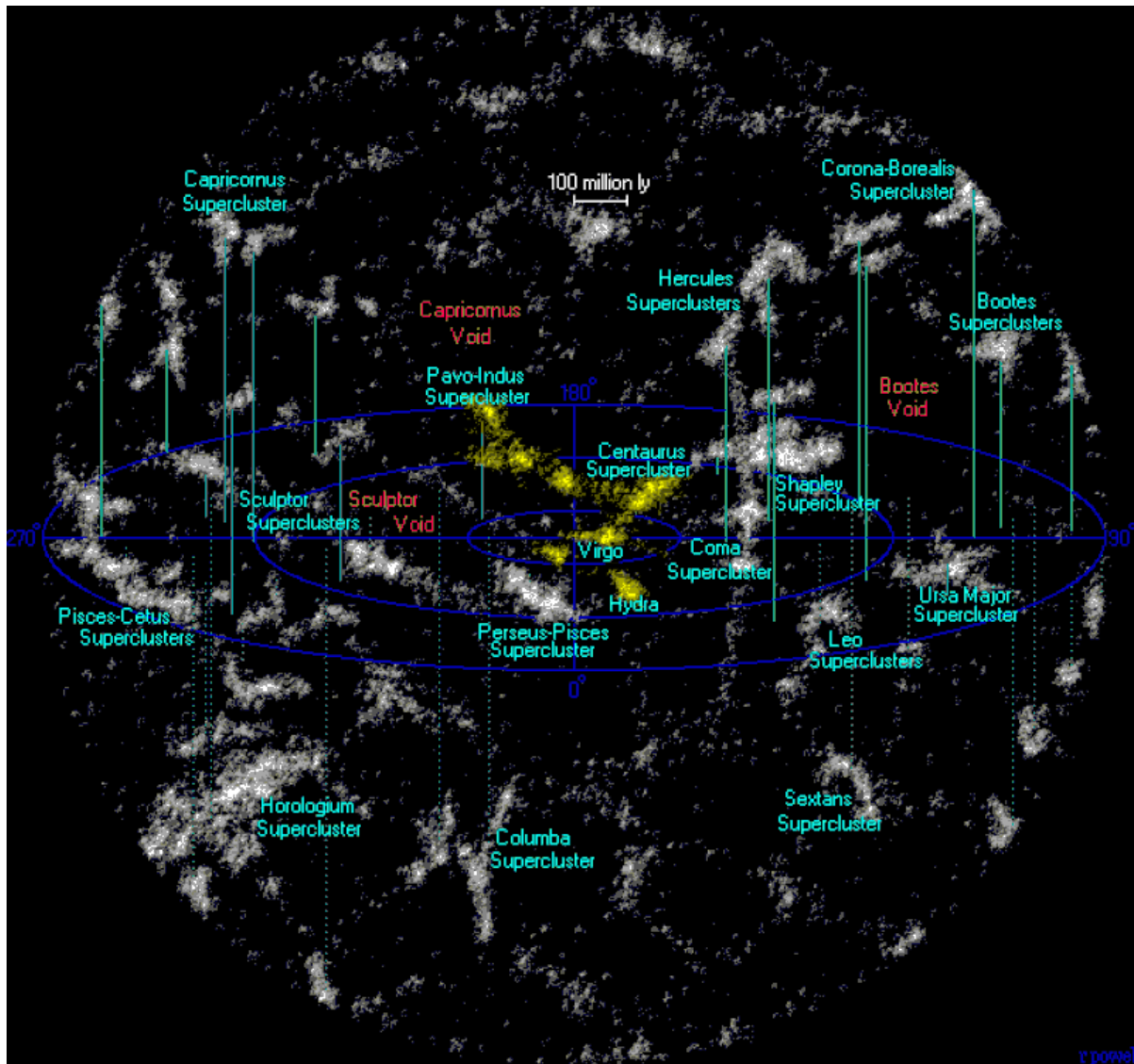
C'est là, notons-le, une belle illustration de ce que laisse entendre le *Decadal Survey* lorsqu'il suggère que nous pourrions trouver «tout autre chose» que ce qu'on espère trouver.

L'Univers, c'est beaucoup trop vaste!

Apportons enfin une nuance concernant notre quête de vie dans l'Univers. Disons que lorsqu'on se demande s'il y a de la vie ailleurs *dans l'Univers*, on voit «grand», ne serait-ce que parce que la galaxie la plus proche de nous, Andromède, se situe à 2,5 millions d'années-lumière.

Si donc il y avait là une vie intelligente — ce qu'on peut raisonnablement supposer —, les signaux radio qu'on recevrait d'elle remonteraient à 2,5 millions d'années, et il s'écoulerait un autre 2,5 millions d'années pour qu'elle reçoive notre réponse. Or, il peut se passer «bien des choses» durant 5 millions d'années... une durée de temps qui correspond, si on remonte dans le passé, à l'apparition des tout premiers humains.

Et cela, c'est pour la plus proche galaxie, les autres se trouvant à des dizaines, centaines voire à des milliards d'années-lumière de nous.



Le groupe de galaxies dont fait partie notre Voie lactée comprend une soixantaine de galaxies et s'étend sur 10 millions d'années-lumière. La plupart de ces galaxies sont séparées les unes des autres par des millions d'années-lumière... Et ce groupe ne représente qu'une infime parcelle de l'Univers.

En pratique, donc, notre quête de vie «dans l'Univers» doit se limiter à chercher dans notre galaxie, un regroupement de centaines de milliards d'étoiles s'étendant sur cent mille années-lumière (voir l'illustration de la page 2). C'est déjà là un terrain de chasse qui nous offre suffisamment de possibilités pour répondre à notre quête. C'est pourquoi on se demandera plutôt s'il y a de la vie dans *notre galaxie*.

Et soit dit en passant, si on désire traiter cette question de façon scientifique, considérons que l'ultime vitesse possible est celle de la lumière. Autrement dit, envisager de quelque façon de dépasser cette vitesse revient à sortir du cadre de la science — cadre hors duquel on peut supposer n'importe quoi.

Et la vitesse de la lumière, qui correspond à 300 000 kilomètres à la seconde, c'est déjà pas si mal si on considère que la

plus grande vitesse jamais atteinte par l'un de nos engins spatiaux correspond à 0,05% de celle-ci. Il s'agit donc d'une vitesse qu'on est très loin d'avoir atteinte mais qui, ô bonheur, est celle à laquelle

se déplace naturellement les ondes radio. On peut donc aisément s'en contenter... si nous désirons demeurer dans le domaine de la science.



La Terre se distingue de toutes les autres planètes qu'on connaît, non seulement par ses couleurs vives mais parce que c'est le seul endroit où, à notre connaissance, la vie est apparue. Elle a par conséquent beaucoup à nous apprendre.

2 – Que nous enseigne la vie terrestre?

Pendant longtemps, un large fossé a séparé les recherches que nous menons concernant la vie terrestre et les travaux des astronomes, les uns regardant sous leurs bottes et les autres ne regardant que loin au-dessus de leur tête. Mais voilà que ces dernières décennies, les deux domaines ont convergé. En effet, une nouvelle catégorie d'astronomes, appelée exobiologiste, s'intéresse désormais aux travaux de leurs confrères biologistes. Il y a d'ailleurs beaucoup à apprendre au sujet de la vie extraterrestre en étudiant la vie terrestre. Après tout, non seulement est-ce le seul exemple qu'on connaisse, mais on peut aussi l'étudier de près. On découvre alors quantité de notions s'appliquant fort bien à nos recherches de vie à travers notre galaxie.

Comme le relate le *Decadal Survey*: «Il existe une abondante littérature – et de débats – sur les principales étapes de l'histoire de la Terre et sur l'apparition de la vie, sur aussi le type de vie la plus ancienne ainsi que sur les voies et le dérou-



La Terre nous apparaît comme une planète hospitalière. Pourtant, elle ne l'est peut-être pas tant que ça. D'une part, elle est entourée par une très mince atmosphère (en bleu sur cette photo) qui protège la vie mais qui est en même temps fragile et facilement perturbée. Il y a aussi... voir page suivante.

lement de l'évolution de la vie.»⁸ C'est dire qu'on a encore beaucoup à apprendre à propos de la vie terrestre, ce qui, en retour, influencera sûrement nos recherches de vie extraterrestre.

Non seulement s'intéresse-t-on à déterminer comment la vie est apparue sur Terre — afin de voir comment cela pourrait se passer ailleurs — mais on s'intéresse tout particulièrement aux environnements terrestres extrêmes dans lesquels on découvre, parfois avec stupeur, que la vie foisonne.

C'est ainsi qu'on a longtemps cru que, pour que la vie soit possible, il faut absolument qu'elle bénéficie de l'énergie en provenance du Soleil — comme le font les plantes. En conséquence, on ne s'atten-

dait pas à trouver de la vie dans les profondeurs des océans, là où règne une obscurité perpétuelle. C'était particulièrement le cas dans les fausses abyssales, où les conditions sont si hostiles — obscurité totale, froid intense, haute pression... Erreur!

«La découverte de communautés microbiennes actives existant sous la surface du fond des océans, souvent loin de l'influence de l'énergie solaire, nous fournit de nouveaux modèles pour comprendre la vie... qui peut exister sur d'autres mondes», écrit-on dans le *Decadal Survey*.⁹

«De nombreuses questions scientifiques restent inexplorées, poursuit-on, notamment à propos des écosystèmes souterrains qui existent indépendamment des

sources d'énergie de surface, et comment la vie s'adapte lorsqu'elle est soumise à des limites environnementales et énergétiques. Notre compréhension de plus en plus détaillée de la vie souterraine et de son évolution sur notre planète pourrait révéler beaucoup de choses sur la façon dont la vie pourrait persister sur d'autres mondes.»

Même dans les environnements les plus extrêmes, on observe une vie abondante, luxuriante et étonnamment diversifiée. On y trouve en fait de véritables écosystèmes complexes, et non pas que quelques rares espèces qui parviendraient tant bien que mal à survivre. Voilà qui ne cesse d'étonner... et de nous épater.

On apprend aussi beaucoup grâce aux formes de vie dites extrêmophiles que l'on retrouve dans les milieux les plus reculés et arides de la planète, là où règnent aussi des températures extrêmes, etc.

Le *Decadal Survey* observe d'ailleurs: «Il est important de noter que notre compréhension de la vie sur Terre continue d'évoluer rapidement grâce aux surprenantes découvertes concernant la capacité de la vie à survivre, voire à prospérer, dans des environnements multi-extrêmes. De récentes découvertes ont en effet démontré que la vie peut exister dans une myriade d'environnements souterrains, glacés ou très pauvres en eau, en adoptant des stratégies jusque-là insoupçonnées. De surcroît, la vie s'adapte très bien aux conditions qui changent rapidement en raison d'événements catastrophiques, et tout autant aux longues périodes de dormance que d'isolement. Cette connaissance de la biosphère terrestre influence directement nos recherches de vie ailleurs.»¹⁰



... Notre planète est recouverte aux deux-tiers par des océans. Mais il s'agit là, en réalité, de très minces couches d'eau si on considère qu'ils ont une épaisseur maximale de 10 kilomètres en regard des 12 750 kilomètres de la Terre. Et dire qu'il y a autour de Jupiter des lunes qui possèdent des océans qui font une centaine de kilomètres ou plus d'épaisseur. En vérité, notre planète est à peine recouverte de flaques d'eau!

De fait, toutes ces formes de vie terrestre, surtout les plus extrêmes, élargissent le champ des possibilités pour trouver de la vie un peu partout dans notre galaxie. Voilà donc que l'étude de la vie terrestre nous ouvre des perspectives très encourageantes.

En conséquence, les rédacteurs du *Decadal Survey* sont très intéressés de savoir: «Quelles conditions et processus ont conduit à l'émergence et à l'évolution de la vie sur Terre? Quelle est l'étendue des formes de vie possibles à la surface, sous la surface et/ou dans l'atmosphère? Et comment cela peut-il éclairer notre compréhension des probabilités de vie ailleurs?»¹¹



Nous recherchons des planètes où il y a une atmosphère et un environnement propices à la vie.

3 — Codépendance entre vie et environnement

De telles interrogations ont donné naissance à une nouvelle discipline, l'astrobiologie, un champ de recherche qui couvre l'ensemble des questions portant sur l'origine, l'évolution et la distribution de la vie dans l'Univers. Ce domaine étudie entre autres ce que les spécialistes appellent la *codépendance* et la *coévolution* de la vie et de son environnement.

Par ces termes, ils désignent le fait que l'apparition et le développement de la vie modifient l'environnement où cela se passe — et l'environnement, en retour, a un impact sur le développement de la vie. Il y a donc une dynamique qui s'installe entre la vie et son environnement, l'un altérant l'autre.

Or, cette dynamique pourrait être un indice à rechercher sur les autres planètes. C'est-à-dire: observera-t-on des environnements qui, de toute évidence, ont été modifiés par la présence d'une vie? Voilà une nouvelle piste à explorer.

En conséquence, on parle de l'*habitabilité* d'une planète ou d'un environnement, c'est-à-dire le fait qu'on devrait prendre en compte l'ensemble des conditions environnementales capables de soutenir la vie. «Examiner l'habitabilité d'une planète ou d'un environnement, c'est chercher à savoir si la vie peut ou non émerger et persister sur une planète», résume-t-on.

Et de poursuivre le *Decadal Survey*: «La Terre représente notre seul point de référence, à ce jour, pour ce qui constitue un monde habité. La façon dont la chimie

prébiotique a coévolué avec son environnement pour donner naissance à la vie sur Terre est par conséquent un domaine de recherche très pertinent.» On a donc encore beaucoup à apprendre, tant au sujet de l'apparition et de l'évolution de la vie sur Terre que sur ce que cela implique pour nos recherches de vie extraterrestre.

On précise aussi que: «Les connaissances acquises à partir de la biochimie, de la structure et de la physiologie des organismes terrestres et de leur évolution à travers le temps sont les fondements de nos recherches de preuves de vie sur d'autres mondes.»

4 —L'Univers, ce n'est pas *Star Trek*

Cependant, nous préviennent les exobiologistes, il nous faut éviter le piège de considérer que toute vie suivra nécessairement le modèle de la vie terrestre.

Or, c'est là un piège dans lequel on a naturellement tendance à plonger. Ainsi, il n'y a pas si longtemps, on s'attendait à ce que les ensembles de planètes qu'on allait un jour observer autour de d'autres étoiles allaient nécessairement ressembler à notre Système solaire, c'est-à-dire de petites planètes rocheuses à proximité de l'étoile et des géantes gazeuses à distance. De même, à l'heure actuelle, on peut difficilement imaginer des êtres intelligents très différents de nous... Après tout, ne sommes-nous pas le modèle par excellence à suivre?!

Biomarqueurs et faux positifs

Dans leurs recherches d'indices de vie sur un autre monde, les spécialistes tentent de repérer ce qu'ils appellent des *biomarqueurs*, c'est-à-dire des signes d'activités chimiques ou physiques qui peuvent être interprétés comme dus à la présence de vie. En même temps, ils doivent prendre garde à ne pas tomber sur des *abio-marqueurs*, c'est-à-dire sur des phénomènes chimiques ou physiques qui

imitent des biomarqueurs mais qui ne sont pas des signes de vie.

Du coup, ils nous mettent en garde contre les *faux négatifs* et les *faux positifs*. C'est-à-dire des observations qui indiqueraient à tort des résultats négatifs ou, au contraire, des observations qui indiqueraient à tort des résultats positifs.¹²

Or, la notion de faux positif est ici extrêmement importante à retenir, car c'est un piège dans lequel risquent de tomber une foule de médias. Et dans lequel, du coup, ils nous feront tomber!

En effet, le jour où des chercheurs annonceront avoir détecté sur une exoplanète des signes d'activités qui ne s'expliquent pas de façon naturelle, la tentation sera grande de conclure rapidement qu'on vient de repérer de la vie extraterrestre.

Et ce ne sera pas la première fois qu'on conclura à tort trop rapidement à l'existence d'extraterrestres, comme nous le relatons dans le balado 70, *A-t-on déjà repéré des extraterrestres?*¹³ (Réponse courte: «Oui, souvent même!»)

En effet, chaque fois que des astronomes rapportent avoir détecté des signaux radio d'origine inexpliquée en provenance de l'espace, les médias rapportent qu'il pourrait s'agir de signaux émis par une civilisation extraterrestre. Mais lorsque plus tard, on parvient à expliquer de façon naturelle ces signaux, les médias n'en font guère mention, ce qui laisse toujours planer l'idée qu'on a déjà repéré de la vie intelligente.

Autrement dit, on risque fort de repérer des signes de vie qui, en réalité, n'en sont pas — ce que les experts appellent des *faux positifs* —, alors qu'on pourrait aussi passer à côté de véritables signes de vie — donc des *faux négatifs*.

Notons qu'il y a trois critères à considérer dans nos recherches de biomarqueurs:

- la fiabilité, c'est-à-dire la probabilité qu'un biomarqueur potentiel soit produit par la vie;
- la capacité de survie, c'est-à-dire la probabilité qu'un biomarqueur potentiel survive suffisamment longtemps pour être détecté dans le contexte de son environnement, et:

- la détectabilité, c'est-à-dire la probabilité de pouvoir réellement détecter un biomarqueur donné avec une technologie donnée.¹⁴

Le *Decadal Survey* rapporte d'ailleurs qu'il y a «de nombreux exemples de la façon dont nos biais, de faux négatifs et de faux positifs, peuvent venir brouiller nos efforts pour détecter des biomarqueurs». ¹⁵ Il y a là, nous dit-on, «d'importantes leçons à retenir.» En effet.

Notons au passage que le plus important biais qu'on entretient tous à propos de la vie dans l'Univers, c'est de se croire le modèle à suivre. C'est pourquoi on peut difficilement envisager qu'il n'existe pas de vie ailleurs et surtout une vie semblable à nous et avec laquelle on pourra un jour échanger. C'est ce qu'on pourrait appeler une conception à la *Star Trek* de l'Univers: des extraterrestres différents de nous... mais pas trop, tout compte fait!

Et si ce qu'on trouvera était... «tout autre chose», comme nous le propose le *Decadal Survey*?

5 — De la vie dans nos parages?

L'une des grandes questions qu'explore le *Decadal Survey* est: se pourrait-il qu'il y ait de la vie ailleurs dans le Système solaire?¹⁶

Il semble bien que la réponse à cette question soit positive, alors qu'il n'y a pas si longtemps — une trentaine d'années — on aurait répondu sans hésiter par la négative. C'est là un bel exemple qui illustre à quel point nos connaissances peuvent évoluer.

Existe-t-il des *preuves* de vie passée ou

présente dans le Système solaire au-delà de la Terre?, pose ensuite cet ouvrage de référence. Et comment parviendra-t-on à le déterminer?

«En nous basant sur nos connaissances au sujet de la vie terrestre et sur notre compréhension de la diversité des environnements habitables, ainsi que sur la



On a longtemps considéré que notre Système solaire, constitué d'une étoile, de quatre petites planètes rocheuses situées à proximité de celui-ci, et de quatre géantes gazeuses situées plus loin, était le modèle à suivre pour les autres systèmes planétaires. On a aussi considéré que seule la vie pouvait exister à proximité (mais pas trop) du Soleil, c'est-à-dire là où gravitent Vénus, la Terre et Mars. Mais voilà qu'on découvre qu'elle est aussi possible sur des lunes de Jupiter et de Saturne, et peut-être même plus loin encore...

progression de nos capacités à détecter des biomarqueurs, nous sommes sur le point d'entreprendre une recherche approfondie et systématique sur la vie à travers le Système solaire», indique-t-on.¹⁷ L'ouvrage cite notamment les sondes spatiales DaVinci et Veritas, qui étudieront sous peu Vénus, les astromobiles Curiosity et Perseverance, qui scrutent le fond de deux cratères martiens, ou encore la mission de récupération d'échantillons martiens MRS en préparation — des missions dont nous avons parlé dans les balados [103](#) et [104](#) — ainsi que les éventuelles sondes Europa Clipper et Dragonfly, qui étudieront respectivement Europe et Titan, deux des principaux satellites naturels de Jupiter et de Saturne.

Parmi les questions que se posent actuellement les spécialistes, il y a : où retrouve-t-on, dans le Système solaire, des

environnements potentiellement habitables? Or, observe le *Decadal Survey*: «Les récentes décennies d'exploration planétaire ont révélé de nombreux environnements potentiellement habitables — anciens et présents.»¹⁸ Voilà qui est très encourageant et qui enrichit grandement nos recherches de vie ailleurs dans la galaxie.

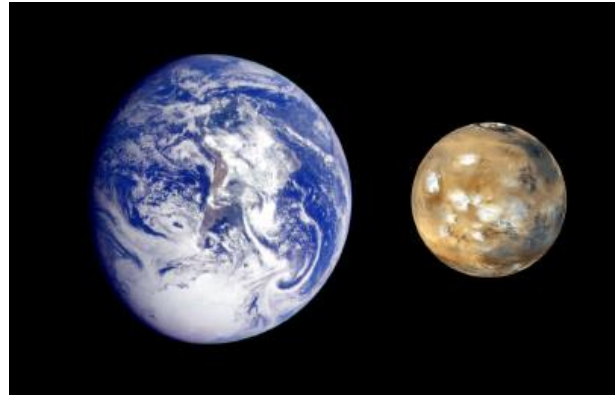
Qu'est-ce au juste qu'un monde habitable?

Les exobiologistes définissent l'habitabilité d'un astre comme étant son «potentiel pour développer et pour maintenir de la vie». (Notons au passage qu'on parle ici d'*astres*, car il peut s'agir autant de planètes, qui gravitent autour du Soleil, que de satellites naturels (lunes), qui orbitent autour d'une planète.)

«Parce qu'il n'y a pas d'exemple actuel de vie au-delà de la Terre, l'habitabilité planétaire est en grande partie définie à partir de l'extrapolation des conditions dans lesquelles on trouve la vie sur Terre, explique-t-on, ainsi que par la connaissance des caractéristiques du Soleil et du Système solaire qui apparaissent favorables à la vie.»¹⁹

Les chercheurs tentent aussi de déterminer les processus qui ont mené à la création d'environnements habitables et à la façon dont leurs conditions d'habitabilité ont évolué au fil du temps. Cette étude nous amène à comprendre les facteurs contrôlant l'habitabilité d'un environnement, les «chemins évolutifs» par lesquels un environnement devient habitable et les processus qui maintiennent, améliorent ou, au contraire, diminuent sinon même anéantissent l'habitabilité d'un environnement.²⁰ Autrement dit: comment un astre peut-il devenir habitable, mais aussi comment il peut ne plus l'être.

Le cas de Mars est à cet égard fort instructif, car tout indique que jadis, cette planète a été habitable mais qu'elle ne l'est plus. Que s'est-il donc passé? Et peut-être est-ce aussi le cas de Vénus?



La planète Mars étant deux fois plus petite que la Terre et, par conséquent, sa force gravitationnelle 2½ fois plus faible, on ne s'attendrait pas à ce que cette planète puisse retenir une atmosphère suffisante pour abriter de la vie. Et pourtant, ça semble avoir été le cas...

Selon nos connaissances actuelles, les trois principaux critères d'habitabilité sont: (1) la présence d'eau liquide; (2) des conditions favorables à la formation de molécules organiques complexes à un moment donné dans l'histoire de l'astre; et (3) la présence de sources d'énergie pour soutenir cette vie (généralement, mais pas toujours, l'énergie solaire). Il faut aussi tenir compte du rôle du temps, car la vie a besoin de temps et de stabilité pour apparaître et s'épanouir.²¹

6 — Pas facile de vivre sur Terre!

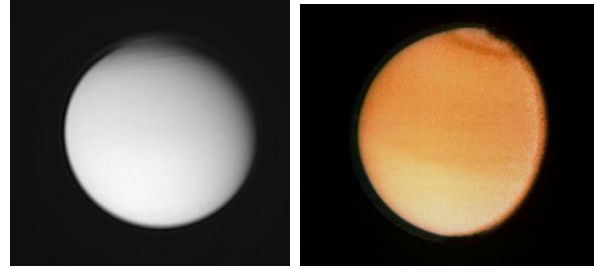
Le *Decadal Survey* introduit ici une notion importante. De plus en plus, nous disons, nous n'observons pas qu'un environnement est soit habitable ou ne l'est pas du tout. En réalité, les choses sont rarement aussi tranchées. On a plutôt affaire à un *continuum*, c'est-à-dire qu'un environnement peut être plus ou moins habitable, ou ne pas l'être du tout (à l'exemple de la Lune et de Mercure). Mais il peut aussi passer d'habitable à inhabitable, et vice versa. La situation peut donc évoluer dans le temps, comme cela semble avoir été le cas sur Mars.²² Autrement dit, rien n'est jamais tout blanc ou tout noir, rien n'est jamais acquis ni n'est définitif en matière d'habitabilité.

En cela, la Terre nous offre de nombreux exemples tout au long de son histoire, alors qu'à plusieurs occasions, elle a connu de grandes périodes de glaciation. C'est ainsi qu'il y a environ 2,5 milliards d'années, elle a été complètement recouverte par une épaisse couche de glace — on parle alors de la «Terre boule de neige» — la rendant pratiquement inhabitable.²³ Pourtant, la vie s'y était déjà implantée depuis un bon milliard d'années et, malgré que notre planète a alors été inhabitable durant des centaines de millions d'années, la vie a survécu pour ensuite se remettre à s'épanouir. C'est dire qu'il ne faudra pas conclure trop vite qu'un astre est inhabitable ou l'a toujours été.

Le *Decadal Survey* ajoute aussi que, tout au long de son existence, notre planète a subi d'importantes variations dans l'énergie qu'elle a reçue en provenance du Soleil, ce qui a eu d'importants effets sur son habitabilité, causant des bouleversements environnementaux considérables. (Pourtant, le Soleil figure parmi les étoiles les plus stables qui soit, tandis que la majorité des autres étoiles sont beaucoup plus bouillonnantes et instables. Nous sommes donc «chanceux» par rapport à la majorité des autres systèmes planétaires.)

Le *Decadal Survey* relate aussi le fait que les océans et l'atmosphère primitifs de la Terre auraient été «stérilisés» lors de la formation de la Lune survenue il y a 4,52 milliards d'années. Puis, lorsque la

Terre s'est refroidie et que les océans se sont rétablis, notre planète aurait été entourée d'une atmosphère riche en dioxyde de carbone (CO₂) — une atmosphère assez semblable à celle de Titan, d'où l'intérêt d'étudier cette lune de Saturne.



La Terre a un temps été une «boule de neige» et a aussi ressemblé à Titan.

Ajoutons que la vie elle-même transforme son environnement et les conditions d'habitabilité. C'est ainsi que l'un des plus importants bouleversements atmosphériques est survenu il y a 2,4 milliards d'années lorsque la vie marine s'est mise à injecter massivement de l'oxygène dans l'atmosphère. La concentration en oxygène est alors passée de 0,001% à près de 20%. Or, cette oxygénation de l'atmosphère a profondément modifié l'environnement terrestre, terrassant du coup la vie anaérobie qui fleurissait alors. (Les organismes anaérobies évoluent en l'absence d'oxygène, contrairement aux organismes aérobiques qui vivent uniquement en présence d'oxygène — ce qui est le cas de toutes les plantes et des animaux qui nous sont familiers.)

7 – Deux beaux exemples à notre portée

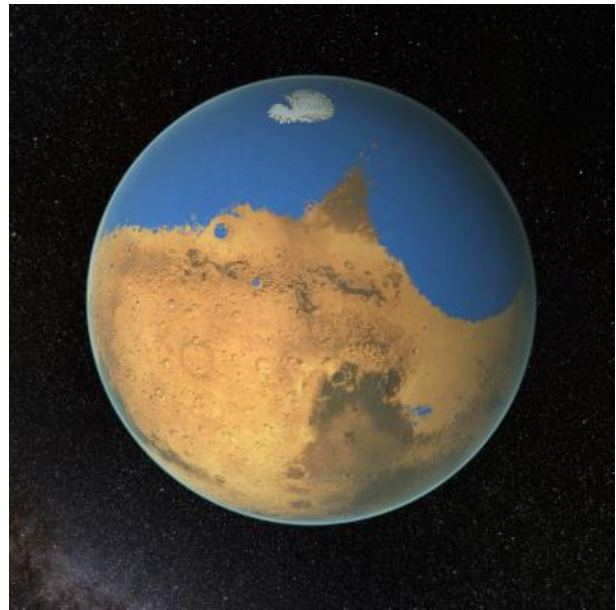
Par conséquent, constatent les spécialistes: «La compréhension de l'habitabilité dynamique des astres du Système solaire par l'étude de leur évolution – passée, actuelle et future – jette les bases de l'étude des mondes potentiellement habitables au-delà du Système solaire.»

Et ils constatent avec ravissement que: «Le Système solaire regorge d'exemples d'évolution de l'habitabilité au fil du temps.»²⁴ C'est notamment le cas de Mars et de Vénus, où ils observent des changements substantiels dans leurs conditions d'habitabilité.

Les chercheurs constatent en effet que la très mince atmosphère de CO₂ de Mars n'est pas en mesure de nos jours de maintenir de l'eau liquide à la surface. «Mais les sédiments déposés et les minéraux hydratés [qu'on retrouve au fond des cratères explorés par Curiosity et par Perseverance], ainsi que les reliefs fluviaux et glaciaires visibles depuis l'orbite attestent de la présence passée de lacs, de rivières, d'aquifères et de systèmes hydrothermaux», résume le *Decadal Survey*.²⁵

De même, l'atmosphère très dense de CO₂ de Vénus maintient un effet de serre étouffant sur la surface et où l'eau liquide ne peut exister. «Mais les isotopes atmosphériques et certains modèles évolutifs de Vénus suggèrent un passé plus clément», indique-t-on.²⁶

En outre, on a découvert des océans sur quelques-uns des principaux satellites naturels de Jupiter et de Saturne qui pourraient être habitables. «Sur ces mondes glacés, divers mécanismes de réchauffement... pourraient soutenir des océans souterrains alimentés en énergie chimique et en nutriments variés», nous indique-t-



Il semble bien qu'au début de son histoire, l'hémisphère Nord de la planète Mars aurait été recouvert par un immense océan peu profond mais qui aurait pu abriter de la vie. ([En savoir plus...](#))

on. Ces océans pourraient donc être propices à une vie marine... fort différente de celle qu'on connaît ici sur Terre.²⁷

C'est ainsi qu'on a repéré une bonne demi-douzaine d'astres sur lesquels il est très intéressant d'étudier les conditions d'habitabilité, présentes ou passées, afin de mieux cerner ce qui s'est passé sur Terre – ou pourrait se passer – ainsi que pour évaluer l'habitabilité des exoplanètes qu'on étudiera de plus près autour des autres étoiles.

Voilà pourquoi Vénus nous intéresse tant, malgré son environnement actuel infernal. «Vénus détient des indices essen-

tiels pour comprendre le rôle des changements climatiques dans un monde devenant inhabitable», nous dit-on.



Vénus, telle qu'elle apparaîtrait sans son voile de nuage, est aujourd'hui un monde torride et possiblement volcanique. Mais peut-être n'a-t-elle pas toujours été ainsi?

Vénus a-t-elle déjà été habitable?

La surface de Vénus, où il fait 470°, est clairement inhospitalière, explique-t-on. «Les mesures de son atmosphère prises par des sondes spatiales, dont Venus Express, laissent supposer que cette planète a possiblement perdu l'équivalent d'un océan terrestre au cours de sa vie. Reste à savoir quand, comment et combien d'eau a ainsi été perdue?», indique le *Decadal Survey*.

Selon certains scénarios, cette planète n'a jamais été habitable. Par contre, selon d'autres scénarios, divers mécanismes auraient pu conserver la planète fraîche et clémente durant des milliards d'années. Vénus ne se serait réchauffée qu'au cours

du dernier milliard d'années, réchauffement déclenché par la libération massive de CO₂ dans son atmosphère à la suite d'éruptions volcaniques. On suppose même qu'il pourrait y avoir encore des volcans en activité sur cette planète, comme nous le relatons dans le balado 75, *Mystères vénusiens*.²⁸

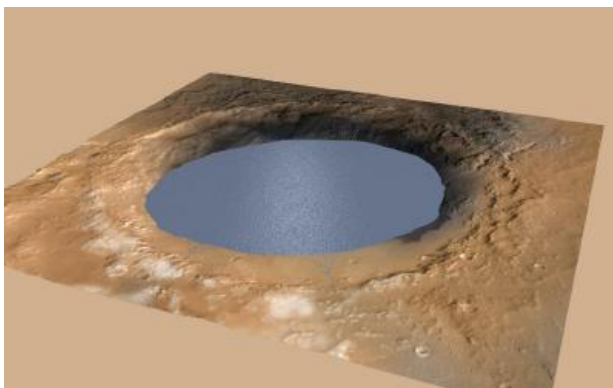
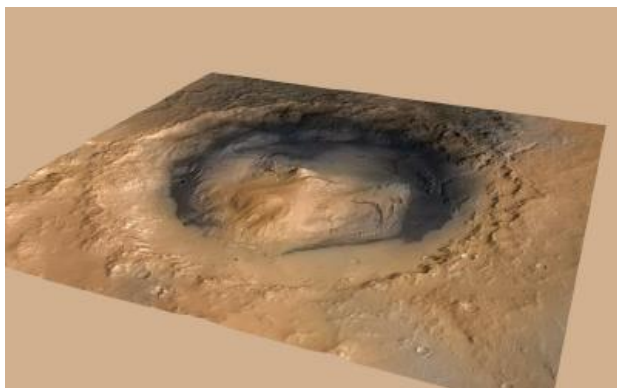
Si donc Vénus a déjà été hospitalière, «il se pourrait que le Système solaire ait compté deux mondes habitables de la taille de la Terre pendant une grande partie de son histoire», suggère-t-on. Voilà qui serait une grande révélation... qui reste toutefois à établir.

Qui plus est, certains experts proposent que, dans l'atmosphère de Vénus, à l'altitude de 55 à 60 kilomètres, la pression atmosphérique et la température pourraient être comparables à celles qu'on retrouve sur Terre au niveau de la mer. Se pourrait-il qu'une forme de vie y prolifère? Vénus nous offre peut-être un exemple inédit d'habitabilité atmosphérique... sur une planète qui est autrement un enfer!

Mars serait-elle encore habitable?

De son côté, la planète Mars nous offre un site pour comprendre les interactions roche-eau-atmosphère et les conséquences des changements climatiques sur le long terme. En effet, l'environnement martien aurait été habitable durant les deux premiers milliards d'années de son existence. Et peut-être Mars abrite-t-elle encore des environnements hospitaliers?

On observe sur cette planète une kyrielle d'intrigantes traces d'eau liquide et



Le cratère Gale, d'un diamètre de 154 kilomètres et profond de 3 kilomètres, est exploré depuis 2012 par l'astromobile Curiosity. On sait à présent qu'il s'agit d'un lac asséché.

d'environnements autrefois habitables. De toute évidence, il y aurait eu par le passé sur cette planète des sources hydrothermales, des aquifères souterrains, des lacs et même des océans.

Tel que nous l'avons relaté au [balado 103](#), l'astromobile Opportunity a repéré des preuves d'un ancien lac aux eaux acides qui, sur Terre, peuvent être habités par des organismes capables de tolérer un tel environnement. Pour sa part, l'astromobile Spirit a identifié des gisements de silice laissant croire qu'ils ont été formés dans une ancienne source hydrothermale volcanique; sur Terre, ce genre d'environnement est peuplé de vie microbienne. Quant à Curiosity, il a trouvé des preuves d'un ancien système lacustre habitable dans le cratère Gale où on y retrouve tous les éléments chimiques essentiels à la vie.

Cet astromobile a également repéré de la matière organique dans les roches sédimentaires. Des sondes orbitales ont quant à elles détecté de la glace à moins d'un mètre sous la surface et il se pourrait même que de l'eau liquide existe sous cette glace.

On se demande à présent quels sont les mécanismes qui ont soutenu ces habitats. On sait déjà que, par le passé, Mars possédait une atmosphère plus dense et plus chaude qu'aujourd'hui — atmosphère qui a depuis disparue. Que s'est-il donc passé pour que les conditions d'habitabilité de cette planète changent à ce point? À présent, ce monde est froid et aride, mais on ignore s'il n'abrite pas aujourd'hui encore des environnements hospitaliers. Or, c'est là une possibilité réelle.

8 — De la vie aux confins du Système solaire?

Comme nous l'avons relaté plus haut, les sondes Galileo et Cassini ont détecté la présence de chimie organique et d'eau liquide sous la surface de quelques-unes des principales lunes de Jupiter et de Saturne. Ces découvertes ont élargi considérablement la zone habitable de notre Système solaire.

À l'origine, en effet, on définissait cette zone comme étant celle où il est possible de retrouver de l'eau liquide à la surface d'une planète. Il fallait aussi que

les conditions soient réunies pour offrir à cette eau liquide un environnement stable sur une longue période. À cette fin, les planètes considérées comme étant en zone habitable ne devaient pas être trop proches du Soleil — où il fait trop chaud — ni trop distantes, car il y fait alors trop froid.

Dans le cas des autres systèmes planétaires, cette stabilité dépend entre autres des conditions offertes par l'environnement entourant l'étoile autour de laquelle gravitent des planètes en zone habitable. Ainsi, une étoile trop bouillonnante ou trop «explosive» n'offre pas un environnement stable.

Et pour considérer qu'une planète est potentiellement habitable, on doit aussi tenir compte de l'orbite qu'elle décrit. Si, par exemple, cette orbite était trop excentrique — une planète s'approchant

tantôt de son étoile puis s'en éloignant de beaucoup —, cela générerait des écarts de température qui déstabiliseraient l'environnement. De même, la nature de l'atmosphère et la géologie d'une planète peuvent également jouer un rôle important.

Il faut aussi que la planète ait une certaine masse, afin d'avoir la capacité de conserver une atmosphère assez importante — ce qui n'est pas le cas de la Lune — mais il ne faut pas non plus qu'elle soit trop massive, comme Jupiter ou Saturne, qui sont alors d'immenses boules de gaz sans surface solide.

C'est pourquoi, dans le Système solaire, on considérait que la zone d'habitabilité se situait approximativement à entre 100 et 300 millions de kilomètres du Soleil — soit la région où gravitent Vénus, la Terre et Mars.



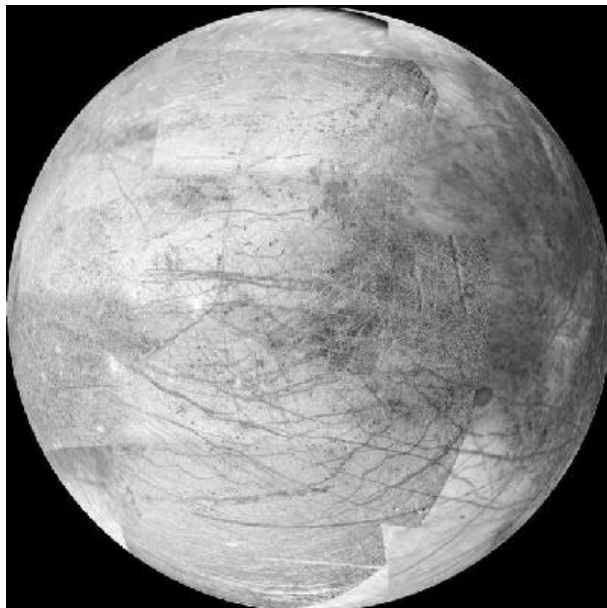
Voilà comment on se représentait la zone habitable du Système solaire, là il fait ni trop chaud (Mercure) ni trop froid (par-delà l'orbite de Mars). Mais voilà qu'avec la découverte d'océans sous les glaces de certaines lunes de Jupiter et de Saturne, notre conception de zone habitable ne cesse de s'étendre.

Mais voilà que ces dernières décennies, on a découvert que l'eau liquide peut aussi exister sur de petits astres (de la taille de la Lune et même beaucoup plus petit) et se trouver à grande distance du Soleil. Dans ce cas, d'autres mécanismes permettent de retrouver de l'eau liquide sous la surface glacée de petits astres.

Ces découvertes ont considérablement élargi — et complexifié — notre conception de la zone habitable autour d'une étoile. Comme le relate le *Decadal Survey*, «Les mondes habitables n'ont pas besoin d'avoir de l'eau liquide sur une surface stable. Des environnements habitables souterrains existent sur Terre, tandis que de

l'eau liquide souterraine existe sur d'autres astres du Système solaire et même indépendamment de l'énergie en provenance du Soleil.» C'est ainsi que l'eau peut être maintenue liquide sans apport de la chaleur du Soleil grâce, notamment, au chauffage géothermique fourni par l'accrétion, l'impact de météorites, la radioactivité, le volcanisme ou la dissipation des marées. De l'eau liquide peut exister également sous forme de gouttelettes dans une atmosphère.²⁹

C'est ainsi que les sondes Galileo et Cassini ont repéré une demi-douzaine d'astres dits *océaniques*, c'est-à-dire complètement entourés par un océan mesurant plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres d'épaisseur — de gigantesques océans comme on n'en retrouve pas sur Terre! C'est notamment le cas de:



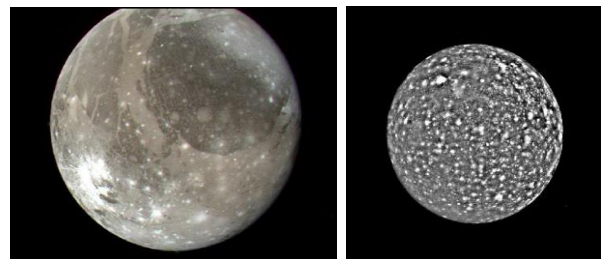
La découverte par la sonde Galileo d'océans sous la surface d'Europe en 1997 a changé à tout jamais notre vision des possibilités de vie dans le Système solaire.

- Europe, l'une des quatre grandes lunes de Jupiter, qui a presque la taille de la

Lune (3120 km; notre Lune mesurant 3500 kilomètres de diamètre). On y observe une surface jeune et lisse avec des fractures fournissant la preuve de la présence d'un océan entourant complètement Europe sous une croûte de glace.

Cette découverte, survenue en 1997,³⁰ a véritablement fait sensation — une vie marine pourrait exister aussi loin dans le Système solaire que Jupiter! — ouvrant par le fait même une toute nouvelle avenue de recherche.

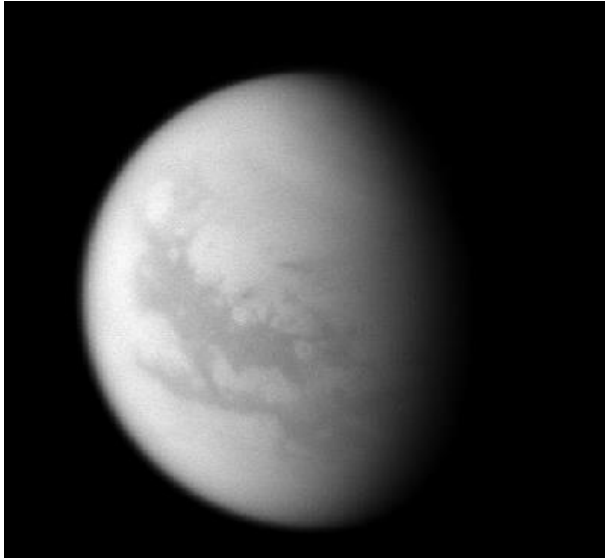
On cherche maintenant à connaître la composition de cet océan et s'il contient des composés organiques, ce qui sera justement la mission de la sonde Europa Clipper que prévoit lancer la NASA en octobre 2024.



Ganymède et Callisto: deux autres lunes océans où une vie marine pourrait être possible.

- Ganymède et Callisto, deux des quatre principales lunes de Jupiter (mesurant respectivement 5260 et 4820 kilomètres de diamètre; Ganymède dépasse même en taille la planète Mercure). Sur cette lune, on aurait repéré un océan global, probablement pris en sandwich entre deux ou plusieurs couches de glace. Ganymède possède également un champ magnétique (comme la Terre).

Pour sa part, Callisto pourrait posséder un océan d'eau liquide à plus de cent kilomètres sous sa surface, océan qui serait susceptible d'abriter une vie.

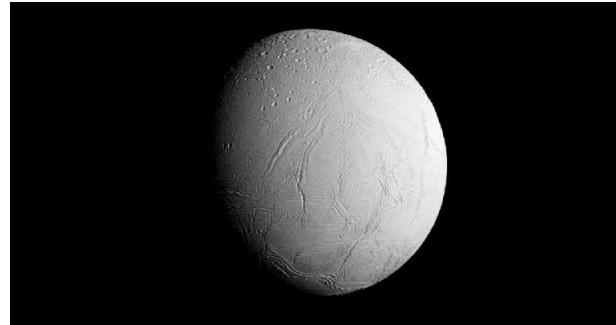


Titan étant recouverte par une épaisse atmosphère, elle s'apparente à Vénus. Mais sous cette atmosphère, il y règne un monde fort étrange...

- Titan, le plus gros satellite de Saturne (5150 kilomètres de diamètre), est le seul satellite connu à posséder une importante atmosphère. Celle-ci se compose à 98% d'azote et de 1,6% de méthane et d'éthane. C'est le théâtre d'une chimie organique complexe où se forment des molécules prébiotiques. On trouve à sa surface des lacs d'hydrocarbures liquides, tandis qu'un vaste océan d'eau pourrait exister sous une épaisse couche de glace.

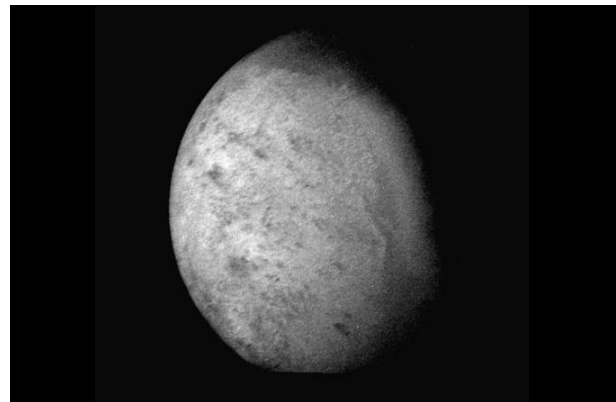
On pense que Titan ressemble à ce que devait être la Terre à ses débuts. Il s'agit de la «planète» la plus étrange qu'on puisse explorer mais, malheureusement, elle se trouve fort distante de nous, à quelque 1,5 milliard de kilomètres (dix fois la distance Terre-Soleil).

- Encelade est une petite lune de Saturne, qui ne fait que 500 kilomètres de diamètre. En conséquence, on s'attendait à ce qu'il s'agisse d'un astre inerte, un gros rocher fait de glace et de matière solide. Mais voilà que, contre toute attente, en



Encelade, un petit astre qui, ô surprise, pourrait lui aussi receler une vie marine.

2015, la sonde Cassini a repéré des panaches d'eau s'échappant d'un océan!³¹ Cette eau contient même des sels et de la matière organique, c'est-à-dire que les ingrédients clés de l'habitabilité semblent réunis sur cette minuscule lune.



Triton, un astre qui demeure encore mystérieux.

- Triton, principale lune d'Uranus, d'un diamètre de 2700 km, présente une surface géologiquement jeune et où il pourrait y avoir des cryovolcans, c'est-à-dire des volcans de glace qui crachent de l'eau, ainsi qu'un océan sous-terrain. On connaît toutefois très peu de choses à son sujet puisque seule la sonde Voyager 2 l'a étudiée brièvement lors de son passage près d'Uranus en 1986. Tout est à apprendre de cet astre intrigant... qui se trouve hélas à 3 milliards de kilomètres de nous.



Cérès est un astéroïde
intrigant... et pas loin de nous!

- Cérès, le plus gros astéroïde (950 km) gravitant entre Mars et Jupiter, pourrait abriter de l'eau liquide souterraine ainsi que des composés organiques et de l'azote à sa surface. C'est par conséquent une petite planète intéressante à étudier, d'autant plus qu'elle ne se trouve qu'à 400 millions de kilomètres de nous.



On a enfin obtenu un premier aperçu de Pluton en 2015, mais tout reste à découvrir à son sujet.

- Pluton est la plus grosse planète naine du Système solaire (2370 kilomètres de diamètre). C'est aussi le neuvième plus gros objet connu à orbiter le Soleil, donc la neuvième planète du Système solaire. Il semble bien qu'elle possède un océan

d'eau liquide sous une épaisse couche de glace. Sa surface et son atmosphère sont également riches en carbone et en azote. Malheureusement, cette planète se trouve à quelques 6 milliards de kilomètres de nous et on n'est pas prêt de retourner la visiter.

«Que peuvent donc révéler tous ces petits astres au sujet de l'habitabilité?, pose le *Decadal Survey*. Certains pourraient-ils être habitables?» De toute évidence, fait ressortir ce document qui compile nos plus récentes connaissances, on a encore beaucoup à apprendre au sujet de ces mondes lointains.

Ce serait aussi le cas des astres qui gravitent par-delà de l'orbite de Neptune (la plus lointaine des planètes, à 4,5 milliards de kilomètres). À part Pluton — le plus gros de ces objets *trans-neptuniens* détectés à ce jour —, on ne connaît rien d'eux et tout reste à découvrir à leur sujet.

N'empêche que les spécialistes notent avec satisfaction qu'au cours de la dernière décennie, les résultats obtenus grâce aux sondes Dawn et New Horizons ont «révolutionné notre compréhension de l'habitabilité» des petits astres du Système solaire, incluant les astéroïdes, les comètes et les objets trans-neptuniens. «En plus de l'eau souterraine observée sur Cérès et sur Pluton, ajoute-t-on, les observations des petits astres suggèrent la possibilité de trouver un grand nombre de mondes océaniques dans la population trans-neptunienne.»

C'est ainsi qu'au cours de la prochaine décennie, indique-t-on, les recherches de biomarqueurs nécessiteront une évolution de la manière dont les systèmes planétaires sont étudiés grâce à de nouvelles missions, technologies et approches

d'analyse de données. Nos recherches seront façonnées par l'accumulation de nos connaissances concernant la gamme d'habitats et de biochimies pouvant produire des biomarqueurs détectables.

Néanmoins, les exobiologistes considèrent qu'il faudra se doter d'un «cadre précis» permettant d'interpréter correctement les indices de biomarqueurs, mais surtout éviter le piège des abiomarqueurs, des faux positifs et des faux négatifs. Ce cadre doit être établi selon un consensus entre chercheurs et jeter les bases sur lesquelles devra reposer la confiance en l'interprétation de signes de vie qu'on pourrait repérer. Il doit aussi encadrer la

façon selon laquelle les résultats devront être communiqués et évalués, à la fois au sein de la communauté scientifique et auprès du grand public.

Il faudra aussi élargir nos champs de recherche pour inclure ce que le *Decadal Survey* qualifie de possibilité de vie «pas telle que nous la connaissons», autrement dit: comment réagirons-nous si nous trouvons «tout autre chose» que ce à quoi nous nous attendons?

Fondamentalement, l'exploration de l'habitabilité passée, actuelle et future d'un monde est distincte de la question à savoir si ce monde a effectivement abrité la vie.³²

Conclusion: *peut-être* sommes-nous seuls... après tout!

Enfin, le *Decadal Survey* résume l'intérêt de nos recherches de vie dans notre galaxie en posant deux vastes questions: «Que révèle notre Système solaire à propos des autres systèmes planétaires? Et que peuvent nous apprendre les exoplanètes au sujet de notre Système solaire?»

Comme le relate cet ouvrage de référence, la dernière décennie a vu une croissance extraordinaire de nos connaissances des systèmes planétaires autour des autres étoiles, et au sujet de la formation des planètes. On a ainsi trouvé une surprenante diversité et une abondance d'exoplanètes. Nous avons en fait découvert qu'il y a davantage de planètes que d'étoiles dans notre galaxie. Voilà qui est fort stimulant.

On souligne aussi que l'observation des disques de matière entourant les jeunes étoiles nous montre comment naissent et se développent les planètes, depuis la première accumulation de grains en agglomérats jusqu'à l'accrétion des protoplanètes.

On détecte même, au sein de certains disques, la présence de planètes en formation.

On a aussi repéré des dizaines d'exoplanètes dans la zone habitable de leur étoile — où les températures de surface peuvent permettre la présence d'eau liquide. En plus, comme on l'a vu, de nombreux petits astres peuvent receler de l'eau liquide dans leur sous-sol.

«L'étude d'un grand nombre d'exoplanètes a conduit à plusieurs avancées dans la compréhension, y compris dans le fait que de nombreuses planètes de petite masse possèdent une atmosphère. Les progrès de nos moyens d'observation permettront sous peu la découverte d'un



On pourrait considérer que chaque galaxie de l'Univers est un îlot qui déborde de vie, et fort probablement même de vie évoluée et intelligente. Cependant, les distances entre chacune, et au sein même de chacune d'elles, sont si grandes que toute forme de vie pourrait avoir l'impression d'être seule.

nombre encore plus élevé de systèmes planétaires ainsi qu'une connaissance approfondie des exoplanètes individuelles.

Or, notre capacité à déterminer les caractéristiques des exoplanètes et de leur atmosphère, ainsi que l'immense richesse de données disponibles concernant plus de 4000 exoplanètes, nous permettent d'esquisser la nature des systèmes planétaires et de les comparer avec le Système solaire.

C'est dire aussi que toutes ces recherches tendent à indiquer que la vie abonderait dans notre galaxie. On pourrait même résumer l'ensemble de nos connaissances actuelles en disant qu'on a toutes les raisons de *croire* que la vie abonde. Toutefois, la diversité de tout ce qu'on observe — et, surtout, la rareté des circonstances très semblables à celles qui ont donné naissance à la vie sur Terre —,

nous amènent à penser que cette vie a toutes les probabilités d'être fort différente de la nôtre.

Et si on était seul... après tout?

On pourrait même avancer l'idée que les humanoïdes plus ou moins semblables à nous sont probablement extrêmement rares puisqu'il leur faudrait, pour parvenir à se développer de la même manière que nous, bénéficier des mêmes conditions de naissance et d'évolution tout au long de milliards d'années. Or, la «Nature» semble «se plaire» à offrir une telle diversité d'environnements que cela paraît de moins en moins vraisemblable.

D'où la notion évoquée dans le *Decadal Survey* à l'effet que nous pourrions bien trouver «tout autre chose» que ce qu'on espère.

Cependant, cet ouvrage se limitant à faire le bilan de nos plus récentes connaissances et à dresser les chemins qu'il nous reste à parcourir, il ne traite pas de l'ultime question: et si nous découvrons que nous sommes seuls dans notre galaxie?

À prime abord, cette question semble absurde, d'autant plus que nos recherches tendent à indiquer qu'il y aurait abondance de vie.

Mais elle se pose selon ce qu'on entend par: ne pas être «seul» dans notre galaxie. Ne serait-il pas possible que nous soyons les seuls de notre «genre», c'est-à-dire qu'il n'y ait aucune autre sorte d'«être humanoïde» suffisamment semblable à nous pour qu'on puisse échanger avec eux? Ce pourrait être soit parce que des êtres suffisamment semblables à nous sont très rares — malgré et surtout peut-être étant donné l'immense diversité des formes de vie qui existeraient —, ou parce que s'il y

en a quelques-uns, les distances entre eux et nous seraient trop grandes?

Par exemple, si on découvrait une civilisation se trouvant, disons, à 100 années-lumière de nous — ce qui est très proche en termes astronomiques —, ce serait déjà très difficile d'entretenir des échanges radio soutenus — et encore bien davantage en personne. Et si la plus proche civilisation se trouvait à 1000 ou à 10 000 années-lumière — des distances pas très grandes en termes astronomiques — alors là, tout échange s'avérerait en pratique impossible.

C'est donc dire qu'on pourrait très bien trouver abondance de vie autour de nous, sous une multitude de formes imaginables et même inimaginables... mais «personne» avec qui échanger!

Et c'est là un résultat très possible... à moins que, encore une fois, on trouve «tout autre chose» que ce à quoi on peut même... imaginer! À suivre donc. •

Pour en savoir plus...

¹ Voir aussi les fascicules 103, *L'actualité commentée: l'exploration du Système solaire, 1^{ère} partie*, 104, *L'actualité commentée: l'exploration du Système solaire, 2^{ème} partie* et 105, *Webb, les premiers pas...*, publiés en 2023 par Claude Lafleur.

² Voir aussi le Fascicule 99 de *Voyage dans l'espace*: [L'astrologie, une croyance passée date](#).

³ Voir aussi le Fascicule 80 de *Voyage dans l'espace*: [Notre place dans l'Univers 2500 ans d'histoire](#)

⁴ William L. Laurence, «[Search for Life on Other Planets](#)», *The New York Times*, 8 janvier 1963, p. 6.

⁵ Herbert S. Bailey Jr., «[Moon Plans Questioned: Diversion of Resources From More Important Projects Seen](#)», *The New York Times*, 28 mai 1961, p. E8; «[Scientists Polled on Moon Projects](#)», *The New York Times*, 23 juillet 1961, p. 36; AP, «[Astronomers Poll Cool to Manned Moon Trip](#)», *The New York Times*, 1^{er} août 1961.

⁶ Editorial, «[Extraterrestrial Life](#)», *The New York Times*, 10 janvier 1963, p. 6.

⁷ Voir les Fascicules 19: [Les extraterrestres nous ressemblent-ils?](#), 70: [A-t-on déjà repéré des extraterrestres?](#) et 86: [Les soucoupes volantes existent-elles?](#)

⁸ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, [*Origins, Worlds, and Life: A Decadal Strategy for Planetary Science and Astrobiology 2023-2032*](#), («Decadal Survey»), National Academies Press, Washington, D.C., 2022, p 12-2.

⁹ [Decadal Survey](#), p. 12-12.

¹⁰ [Decadal Survey](#), p. 12-2.

¹¹ [Decadal Survey](#), Chapitre 12, p. 12-1.

¹² [Decadal Survey](#), p. 12-3.

¹³ Claude Lafleur, [A-t-on déjà repéré des extraterrestres?](#), Fascicule 70 de *Voyage dans l'espace*, 2021.

¹⁴ [Decadal Survey](#), p. 15-2.

¹⁵ [Decadal Survey](#), p. 12-20.

¹⁶ Chapitre 13 du [Decadal Survey](#),: «Question 10: Dynamic Habitability», p. 13-1 à 13-25.

¹⁷ [Decadal Survey](#), p. 13-1.

¹⁸ [Decadal Survey](#), p. 13-1.

¹⁹ [Decadal Survey](#), p. 13-1.

²⁰ [Decadal Survey](#), p. 13-1.

²¹ [Decadal Survey](#), p. 13-2

²² [Decadal Survey](#), p. 13-1.

²³ [Decadal Survey](#), p. 13-3.

²⁴ [Decadal Survey](#), p. 13-3.

²⁵ [Decadal Survey](#), p. 13-3.

²⁶ [Decadal Survey](#), p. 13-3.

²⁷ [Decadal Survey](#), p. 13-3

²⁸ Claude Lafleur, [Mystères vénusiens](#), Fascicule 75 de *Voyage dans l'espace*, 2021.

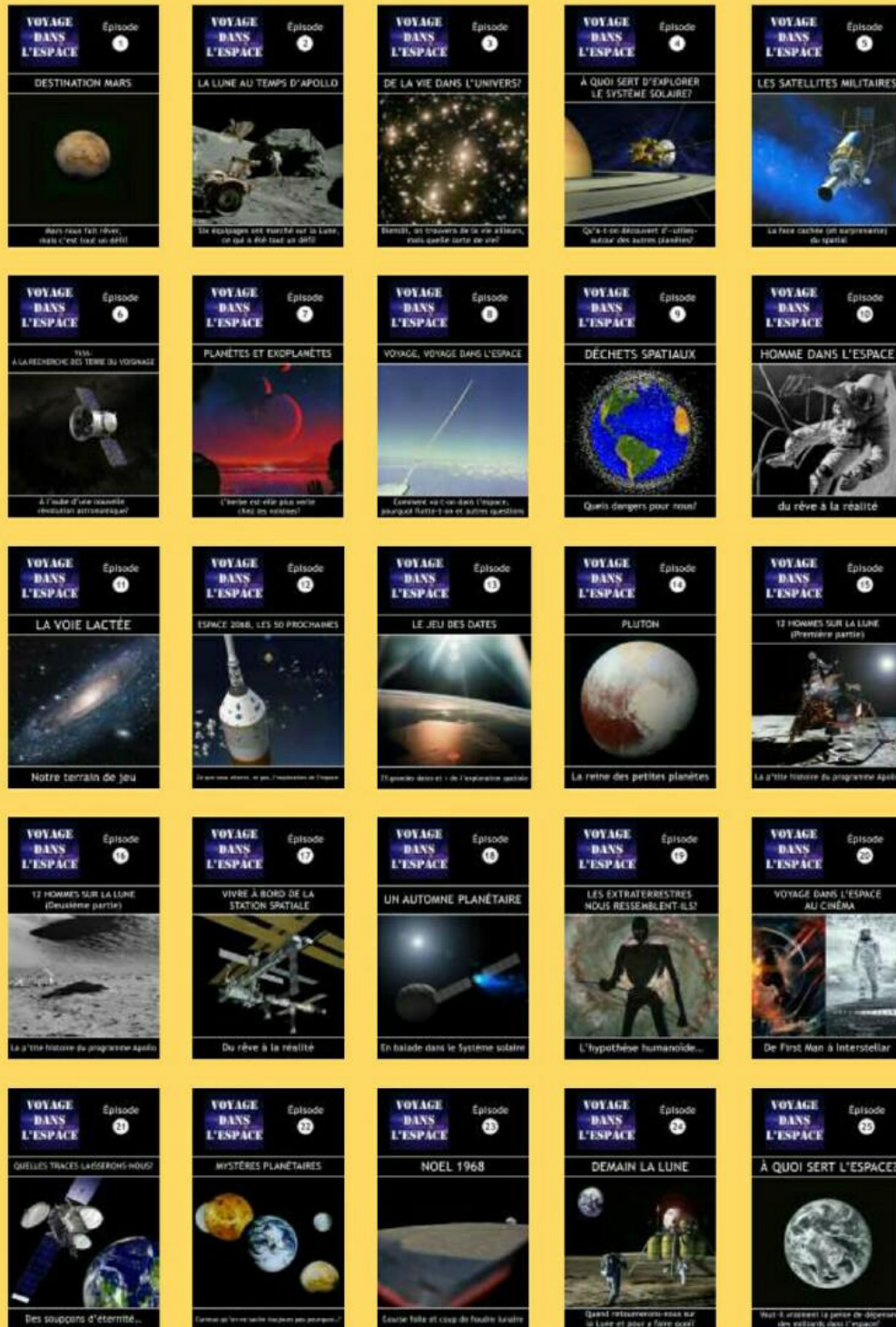
²⁹ [Decadal Survey](#), p. 13-3.

³⁰ NASA, «[Galileo Returns New Insights Into Callisto And Europa](#)», NASA News Release 97-110, 23 mai 1997; NASA, «[New Images Hint At Wet And Wild History For Europa](#)», NASA News Release, 97-66, 4 septembre 1997.

³¹ NASA, «[Cassini Finds Global Ocean in Saturn's Moon Enceladus](#)», NASA News Release 15-188, 15 septembre 2015.

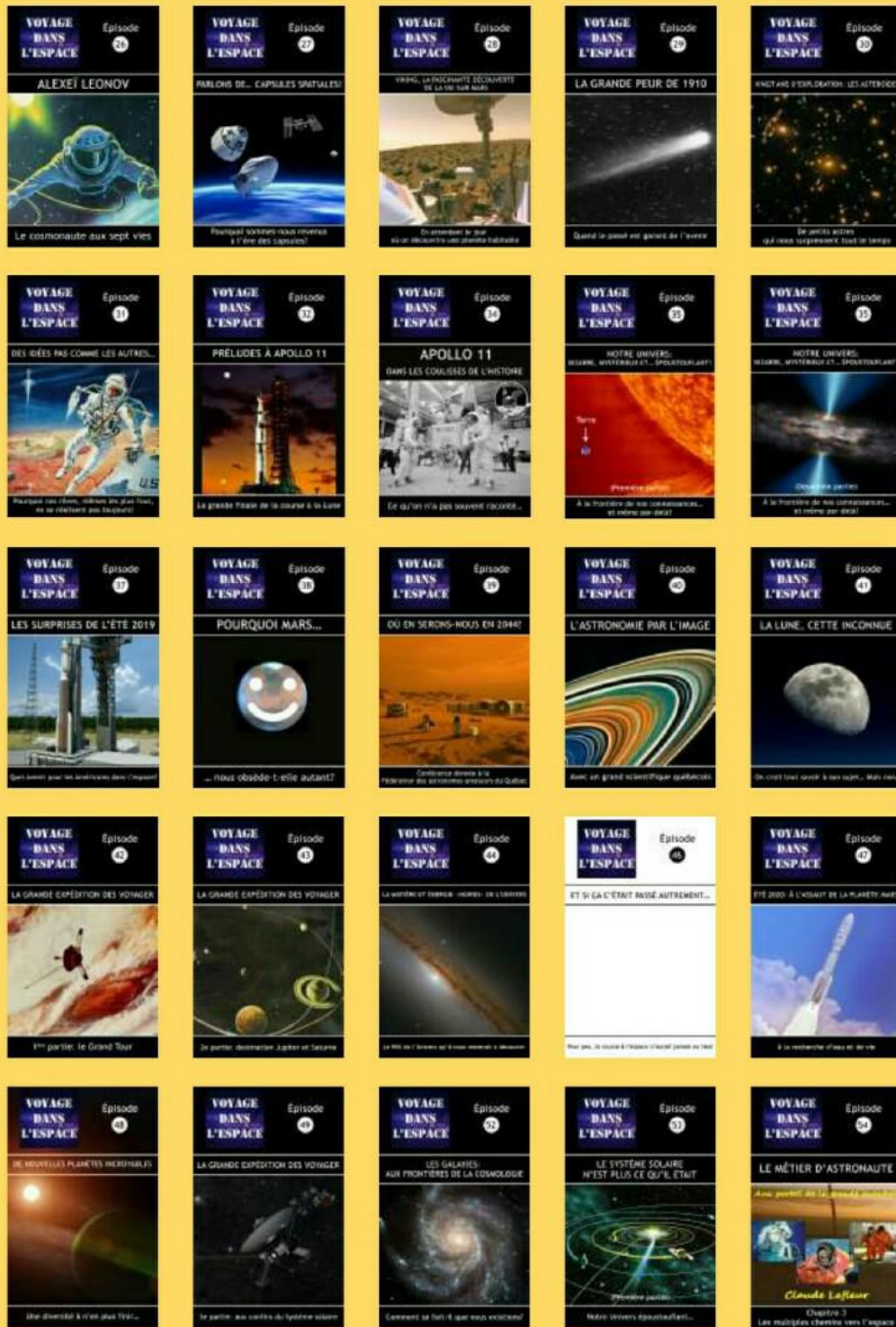
³² [Decadal Survey](#), p. 13-3.

Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



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

Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



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

Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



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

Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



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