

# origine de la vie

## L'exobiologie

**Résumé** Comprendre l'origine du vivant sur notre planète et rechercher d'autres formes de vie ailleurs dans l'Univers comptent désormais parmi les enjeux majeurs de la recherche du XXI<sup>e</sup> siècle. Ces thèmes fascinants, mais autrefois marginaux dans la communauté scientifique, ont progressivement gagné en crédibilité. Le domaine interdisciplinaire appelé « exobiologie » s'est lentement structuré au cours des dernières décennies. Il interroge la question de l'apparition de la vie sur notre planète, la recherche de ses plus anciennes traces et l'entendue de ses capacités d'adaptation à des milieux qui nous semblent extrêmes, afin de mieux orienter les stratégies d'observation et d'exploration pour chercher à savoir si la vie est apparue ailleurs dans l'Univers.

**Mots-clés** Exobiologie, chimie prébiotique, origine de la vie, vie extraterrestre.

**Abstract** Astrobiology

Understanding the origin of life on our planet and looking for other forms of life elsewhere in the Universe are now among the major research challenges of the 21<sup>st</sup> century. These fascinating, but once marginal themes in the scientific community, have gradually gained credibility. The interdisciplinary field called "astrobiology" has slowly structured itself over the past decades. It questions the appearance of life on our planet, the search for its oldest traces and the extent of its capacities to adapt to environments that seem extreme to us, to better direct observation and exploration strategies to find out if life appeared elsewhere in the Universe.

**Keywords** Astrobiology, prebiotic chemistry, origin of life, extraterrestrial life.

### L'émergence d'une discipline

Au sens le plus strict du terme, le mot « exobiologie » s'entend étymologiquement comme la biologie en dehors de la Terre (exo), ce qui reviendrait à dire que cette discipline ne concernerait que le champ de la recherche de la vie extraterrestre. Mais l'exobiologie recouvre en fait un large domaine de recherches interdisciplinaires. En effet, afin d'établir une stratégie scientifique cohérente pour rechercher (et peut-être trouver) de la vie ailleurs que sur Terre, il est indispensable d'identifier les conditions, les étapes et les mécanismes qui lui ont permis d'émerger sur notre propre planète. Savoir comment et quand la vie est apparue sur Terre est donc intimement lié à l'exobiologie.

Au début des années 1960, l'Américain Joshua Lederberg (*figure 1*), alors prix Nobel de médecine, travailla dans le cadre du programme d'exploration lunaire de la NASA qui n'en était qu'à ses toutes premières phases. Lederberg fut chargé de réfléchir aux possibilités de contamination biologique d'échantillons rapportés sur la Terre. Même si la plupart des chercheurs de l'époque s'accordaient sur le fait qu'il était très peu probable qu'il y ait de la vie sur la Lune, il s'agissait de la toute première fois que la question se posait concrètement. Dans un article paru dans la revue *Science* en 1960, Lederberg proposa le mot « exobiologie » pour désigner la recherche de la vie dans l'Univers et de ses origines [1]. Quelques années plus tôt, un autre Américain, Stanley Miller (*figure 1*), posait avant même qu'elle ne porte ce nom la toute première pierre « moderne » de la discipline : en simulant les processus chimiques qui avaient pu se dérouler dans l'atmosphère de la Terre primitive, il réussit à montrer qu'il apparaissait des acides aminés, molécules de base à partir desquelles se forment les protéines dont sont dotés tous les êtres vivants [2]. À l'époque, beaucoup avaient cru que l'on était sur le point de comprendre les mécanismes de l'origine de la vie. Le temps montrera cependant que les choses sont beaucoup plus compliquées que ce qui avait été anticipé à ce moment-là.

D'une part, le type d'atmosphère choisi par Miller n'était probablement pas représentatif de la Terre primitive : il avait soumis à une décharge électrique simulant des éclairs d'orange un mélange de méthane, d'ammoniaque, de dihydrogène et de vapeur d'eau, alors que l'on pense aujourd'hui que l'atmosphère de notre planète était essentiellement composée de dioxyde de carbone, de diazote et de vapeur d'eau, une combinaison dans laquelle les synthèses chimiques sont très limitées. De plus, on cherche encore de nos jours des voies efficaces pour associer les acides aminés entre eux, sans parler du système ARN/ADN qui vient compléter les fonctions remplies par les protéines pour assurer le fonctionnement de la complexe machinerie biochimique du vivant terrestre. Les briques de la vie ne s'assemblent pas simplement pour produire le vivant [3] !

Au fil des années et des communautés, l'exobiologie se verra attribuer différents noms, comme la bioastronomie, la cosmobiologie... Aujourd'hui, soixante ans après la publication de Lederberg, « astrobiologie » est le mot le plus souvent utilisé dans le monde entier pour décrire la discipline [4]. En France cependant, le terme historique demeure largement employé, et les chercheurs qui se consacrent à ce domaine de recherche se regroupent dans une société savante appelée Société Française d'Exobiologie [5].

À ce jour, il est strictement impossible d'affirmer que la vie terrestre est unique (et donc que nous sommes seuls dans l'Univers), ou qu'il existe dans l'Univers un nombre quasi infini de mondes habités accueillant de multiples formes de vie. L'enjeu est justement d'œuvrer à placer rationnellement un curseur entre ces deux cas extrêmes. Les recherches en exobiologie sont entrées depuis la fin des années 1990 dans une nouvelle ère, car de nouveaux outils, de nouvelles découvertes et de nouveaux concepts ont profondément changé le visage de la discipline. On observe un nombre croissant d'exoplanètes, chaque nouvelle découverte modifiant notre perception de la diversité des configurations des systèmes planétaires. Cela nous conduit à réaliser combien la Terre est



Figure 1 - Les Américains Joshua Lederberg (1925-2008) (à gauche) et Stanley Miller (1930-2007), pionniers de l'exobiologie.

singulière dans cette diversité. D'autre part, il semble maintenant bien établi, à partir de fossiles trouvés dans les roches les plus anciennes à la surface de notre planète, que la vie était déjà apparue sur Terre il y a près de 3,5 milliards d'années [6]. Des indices plus minces laissent penser qu'elle était présente bien avant, il y a 3,8 voire plus de 4 milliards d'années [7], alors que la Terre en compte 4,5.

### L'apparition de la vie

Selon le consensus actuel, l'origine de la vie (et très probablement sa persistance) exige de l'eau à l'état liquide, dont la majeure partie aurait probablement été apportée après la formation de notre planète par des météorites et des comètes. L'apparition de la vie requiert aussi de la matière organique, qu'elle soit formée dans l'atmosphère (comme l'avait proposé Stanley Miller, avec une efficacité variable selon la composition de notre atmosphère primitive), ou bien dans des sources hydrothermales au fond des océans, ou encore apportée comme l'eau par des impacts de comètes et météorites. En plus de l'eau liquide et de la matière organique, on considère que de l'énergie est aussi nécessaire. Mais les recherches en exobiologie ne reposent pas sur un théorème, il s'agit plutôt d'un postulat, un principe qui semble légitime sans être pour autant démontré ; l'idée que pour que la vie puisse apparaître, trois ingrédients doivent être réunis : de l'eau à l'état liquide, de la matière organique et de l'énergie. L'enjeu des recherches actuelles est justement de transformer ce postulat en théorème : ces trois préalables sont-ils bien nécessaires et surtout sont-ils suffisants ? L'eau présente en effet une combinaison singulière de propriétés physico-chimiques parmi les solvants que l'on peut imaginer à la surface d'une planète, sans parler du fait qu'il s'agit de la deuxième molécule la plus abondante dans l'Univers [6]. La chimie du carbone est quant à elle universelle ; on peut en effet observer des molécules organiques un peu partout dans le milieu interstellaire et interplanétaire, au sein des nuages moléculaires, dans les comètes [8], ou dans les atmosphères planétaires si leur composition initiale est propice aux synthèses organiques [9]. La structure même du carbone lui confère des possibilités d'associations inégalées en chimie. L'énergie est peut-être « l'ingrédient » sur lequel nous disposons du moins de certitudes : faut-il qu'elle intervienne sous une forme particulière (par exemple des photons ayant au moins un certain niveau d'énergie) [10], ou bien sa nature n'aurait-elle pas de rôle

déterminent pourvu qu'elle soit à disposition ? Une fois ces ingrédients accumulés sur Terre, les différentes étapes de complexification chimique entre les molécules les plus simples et l'apparition de la vie restent encore largement à élucider. Enfin, dans quelle mesure des conditions environnementales bien spécifiques à une planète donnée peuvent-elles peser dans l'apparition de la vie, même en présence d'eau liquide, de matière organique et d'énergie ?

Si bien des interrogations demeurent sur les mécanismes chimiques conduisant à l'apparition de la vie, les microbiologistes ont en revanche montré l'étonnante capacité des systèmes vivants à s'adapter sur Terre aux environnements les plus extrêmes et les plus inattendus. Il semble que presque tous les milieux terrestres, chauds ou froids, secs ou humides, neutres, basiques ou acides, soient habités. Un simple chiffre pour illustrer cet état de fait : certaines bactéries sont capables de se reproduire à environ 120 °C (voir figure 2) ! Ces dernières sont parfaitement adaptées à cette température élevée alors qu'un environnement à 20 °C leur serait très hostile et même fatal. Bien qu'il ne soit pas clair que la vie puisse émerger dans des conditions extrêmes, sa capacité à s'adapter au moins à ces conditions ouvre une perspective intéressante pour la recherche ailleurs dans le système solaire. Que ce soit sur Mars ou dans les océans des satellites des planètes géantes – comme Europe, Ganymède, Callisto, autour de Jupiter ; Titan ou Encelade, autour de Saturne, qui possèdent des océans liquides sous une croûte de quelques kilomètres de



Figure 2 - *Pyrococcus furiosus*, une bactérie dont l'optimum de fonctionnement se situe à 100 °C (Fluvio314, CC BY-SA 3.0).



glace –, le système solaire abrite des niches favorables à la recherche de la vie.

### À la recherche de la vie extraterrestre

La recherche d'une vie extraterrestre est désormais considérée avec sérieux par la majorité de la communauté scientifique. Ce changement de point de vue s'appuie essentiellement sur les progrès de notre connaissance de la vie sur Terre et de son origine. Cette référence unique nous offre un cadre pour une démarche rationnelle qui guide les recherches en cours. À ces repères terrestres viennent s'ajouter des capacités nouvelles à explorer des environnements au-delà de notre planète avec des sondes spatiales et des robots dans le système solaire. Et puis, au-delà de ce premier horizon, les télescopes modernes nous ouvrent un nouveau champ d'investigation immense, celui des exoplanètes dont la caractérisation ne fait que commencer.

L'exobiologie est désormais au centre de la plupart des grandes missions d'exploration spatiale. Par exemple, la mission Cassini-Huygens (NASA-ESA), qui s'est achevée de façon spectaculaire le 15 septembre 2017 par la plongée de la sonde Cassini dans l'atmosphère de Saturne, a permis de lever en partie le voile sur la surface de Titan, le mystérieux satellite de Saturne. Celui-ci possède une atmosphère, ce qui est unique pour le satellite naturel d'une planète dans le système solaire. Cette atmosphère est composée d'azote moléculaire (~ 94 %) et de méthane (~ 6 %), qui plongée dans la magnétosphère de Saturne subit un bombardement de particules chargées (en plus du flux de photons solaires), est le siège d'une chimie organique complexe. Cette chimie conduit à la production d'aérosols organiques qui forment une brume orangée masquant la surface de cette lune. Certains chercheurs pensent que l'atmosphère primitive de la Terre aurait pu présenter des similarités avec celle de Titan. Compte

tenu de la température qui règne à sa surface (~ - 180 °C), l'eau ne peut y être liquide, et ce sont des lacs de méthane et autres hydrocarbures qui s'y forment. La possibilité qu'il puisse y avoir de la vie sur Titan est plus que limitée, mais ce satellite constitue un laboratoire de chimie organique à ciel ouvert [11]. L'Europe s'y est posée en 2005 avec la sonde Huygens (ESA) qui avait été portée et larguée à destination par la sonde américaine Cassini (NASA). Ce monde et sa chimie organique active intriguent tant que la toute dernière mission d'exploration du système solaire sélectionnée à l'été 2019 par la NASA, Dragonfly (figure 3), est destinée à retourner explorer Titan, non pas en se posant en un point fixe comme Huygens en 2005, mais en volant au travers de son atmosphère avec un drone de près de 500 kg ! Ce dernier sera équipé, entre autres, d'un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse, appelé DRAMS. La mission devrait quitter la Terre en 2026, pour atteindre Titan en 2034. Le chromatographe en phase gazeuse sera fourni par deux laboratoires français : le LATMOS et le LISA.

Titan n'est pas le seul satellite du système solaire à être l'objet de recherches liées à l'exobiologie. Grâce aux missions spatiales Galileo (NASA) et Cassini-Huygens (NASA-ESA), nous avons découvert depuis quinze ans que, sous les épaisses couches de glace d'eau qui entourent certains satellites de Jupiter et Saturne, seraient enfouis de vastes océans d'eau liquide. Dans ce contexte, la question de la source de matière organique qui pourrait évoluer vers une forme de vie se pose. On ne peut pas envisager de synthèses chimiques dans les atmosphères car ces objets en sont dépourvus, les apports via les météorites et les comètes se fracassent contre la surface et il est hasardeux d'envisager, d'une part, la survie des molécules lors de l'impact et, d'autre part, leur transport vers les océans de ces lunes. Seule resterait la possibilité de synthèses chimiques au fond des océans au niveau de sources hydrothermales, mais pour la plus grande majorité d'entre

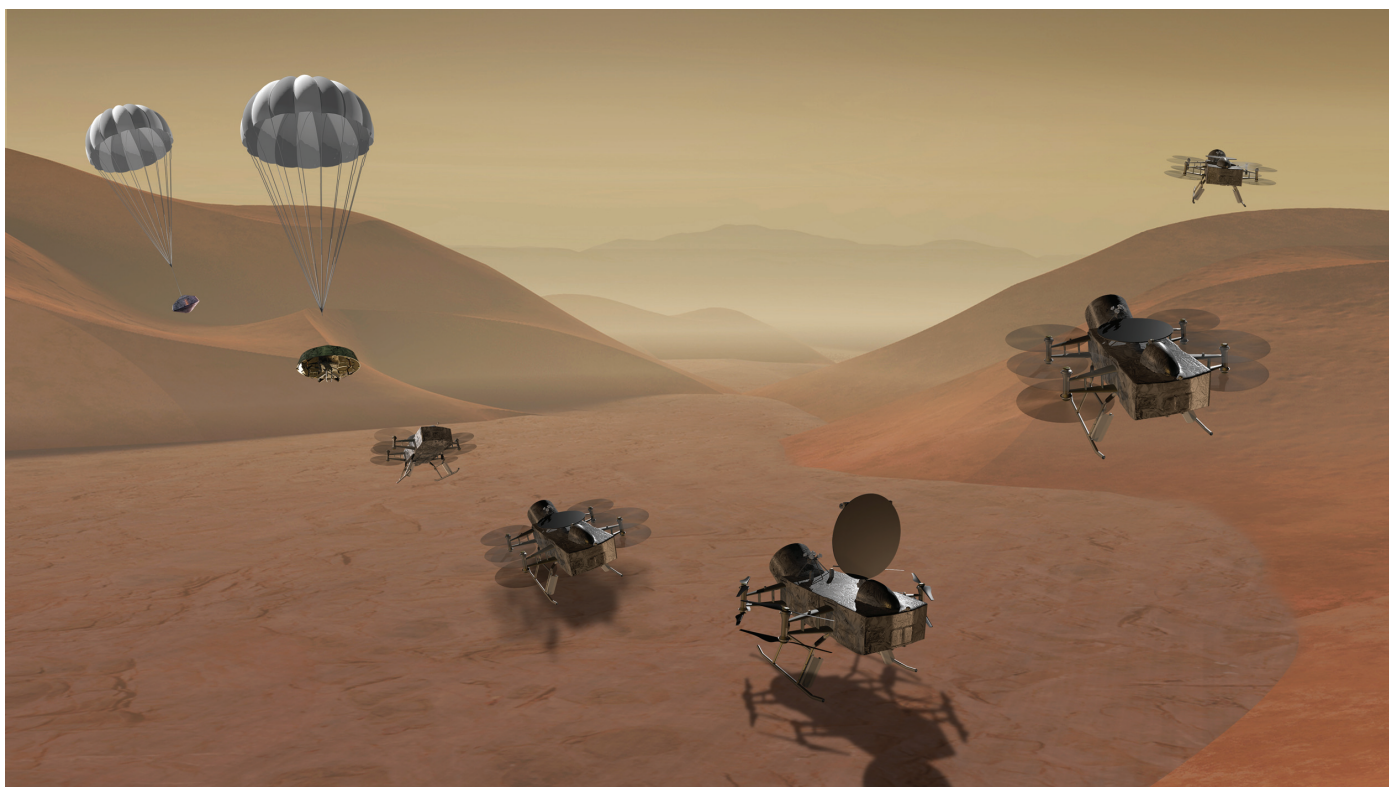


Figure 3 - Représentation de la mission Dragonfly arrivant sur Titan et volant dans son atmosphère. © NASA.

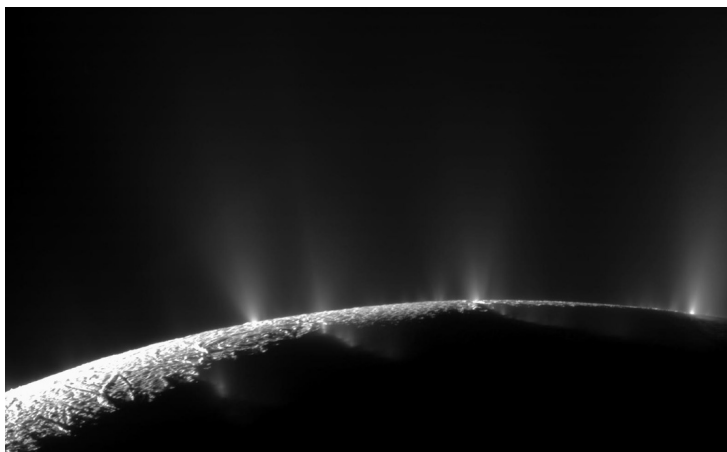


Figure 4 - Encelade et ses geysers. © NASA/JPL/Space Science Institute.



Figure 5 - Vue de la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko. © NASA.

eux – dont Ganymède, Callisto autour de Jupiter, ou encore Titan autour de Saturne –, ces océans seraient pris en sandwich entre deux couches de glace épaisses, chacune de plusieurs centaines de kilomètres. Deux objets se singularisent : Europe autour de Jupiter [12], et un petit satellite de Saturne qui est probablement la plus grande surprise de la mission Cassini-Huygens : Encelade (*figure 4*) [13]. Pour ces deux objets, l'océan se situerait sous quelques dizaines de kilomètres seulement et serait directement en contact avec le manteau rocheux sous-jacent, laissant ouverte la possibilité de sources hydrothermales en profondeur, lieux de synthèses organiques qui pourraient aboutir à l'apparition de formes de vie. Tout ceci est très spéculatif, et il est absolument impossible à ce jour d'émettre la moindre probabilité quant à la présence d'organismes vivants dans de tels environnements. Des obstacles majeurs se dressent avant de pouvoir imaginer explorer ces océans, comme le défi technique qui consisterait à forer au travers de plusieurs kilomètres de glace et assurer une transmission de données à travers la banquise. Pour ce qui concerne Europe, qui se trouve dans la ceinture de radiations de Jupiter, la tenue des instruments à l'environnement radiatif extrême est problématique sans une protection adéquate. La NASA mène cependant actuellement une étude de faisabilité pour la réalisation d'un atterrisseur qui pourrait quitter la Terre vers la fin des années 2020. Il ne serait évidemment pas encore question de forer jusqu'à l'océan, mais de rechercher d'éventuelles traces d'échanges entre les océans et la surface et d'évaluer la complexité de l'évolution chimique qui peut avoir eu lieu dans cet environnement hostile. Encelade serait peut-être plus simple à explorer : ce petit satellite de Saturne a constitué probablement la plus grande surprise de la mission Cassini qui a mis en évidence des geysers de grains glacés contenant de la matière organique. Encelade possède donc une source d'activité interne à l'origine des geysers (de l'énergie), un océan d'eau liquide et de la matière organique. Ce satellite serait en théorie plus simple à explorer qu'Europe car les geysers expulsent dans l'espace des particules dont la composition reflète celle de l'océan souterrain ; inutile de creuser, un « simple » survol avec prélèvement d'échantillon suffit. C'est d'ailleurs ce qu'a pu effectuer à plusieurs reprises la sonde Cassini entre 2005 et 2017, permettant la détection de matière organique associée aux particules glacées éjectées [14]. Les instruments de la sonde n'étant pas adaptés à une analyse chimique approfondie, il faudra retourner vers Encelade pour comprendre la nature de la chimie organique à l'œuvre dans son environnement.

Parmi les réussites récentes en termes d'exploration du système solaire, il faut évidemment mentionner la mission Rosetta de l'Agence spatiale européenne (ESA). Ayant quitté la Terre en 2004, elle a rejoint la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko (« Tchouri », *figure 5*) en 2014. Avec à son bord une dizaine d'instruments scientifiques, la sonde spatiale est restée en orbite autour du noyau de la comète pendant 26 mois, y déposant même à la surface un atterrisseur appelé Philae. La moisson de résultats récoltée est imposante, et pour ce qui concerne les aspects exobiologiques, on peut relever que les deux spectromètres de masse à bord de la sonde (ROSINA pour la phase gazeuse et COSIMA pour la composante réfractaire) ont mesuré la nature des molécules organiques présentes, permettant ainsi de dresser un inventaire des ingrédients chimiques qui ont été dispersés dans l'environnement de la Terre primitive par impacts cométaires. On peut noter la détection de la glycine [15], le plus simple des acides aminés, parmi une impressionnante diversité de molécules organiques volatiles, ainsi qu'une composante macromoléculaire réfractaire qui constituerait environ 50 % en masse du noyau [16].

Enfin, pour ce qui concerne le système solaire, la NASA et l'ESA ne cachent plus leur ambition de mettre enfin à jour des traces de vie passée sur Mars, avec les rovers Curiosity (en activité, *figure 6*) et Perseverance (lancé au cours de l'été 2020) de la NASA et le rover Rosalind Franklin de la mission Exomars de l'ESA (lancement prévu en 2022). Mars est une cible privilégiée pour ce qui concerne la recherche de la vie ailleurs que sur Terre. Il est en effet désormais établi que de l'eau liquide a coulé à sa surface en présence de matière organique qui aurait pu être apportée par des météorites et des comètes [17-18]. C'est le seul objet proche de nous où il est possible de tester notre compréhension des mécanismes conduisant à l'apparition du vivant selon le principe « eau liquide + matière organique + énergie = vie ». L'environnement martien a été profondément modifié dans les quelques centaines de premiers millions d'années après sa formation, son atmosphère a été progressivement perdue par échappement dans l'espace. Avec désormais une pression de surface de 6 mb en



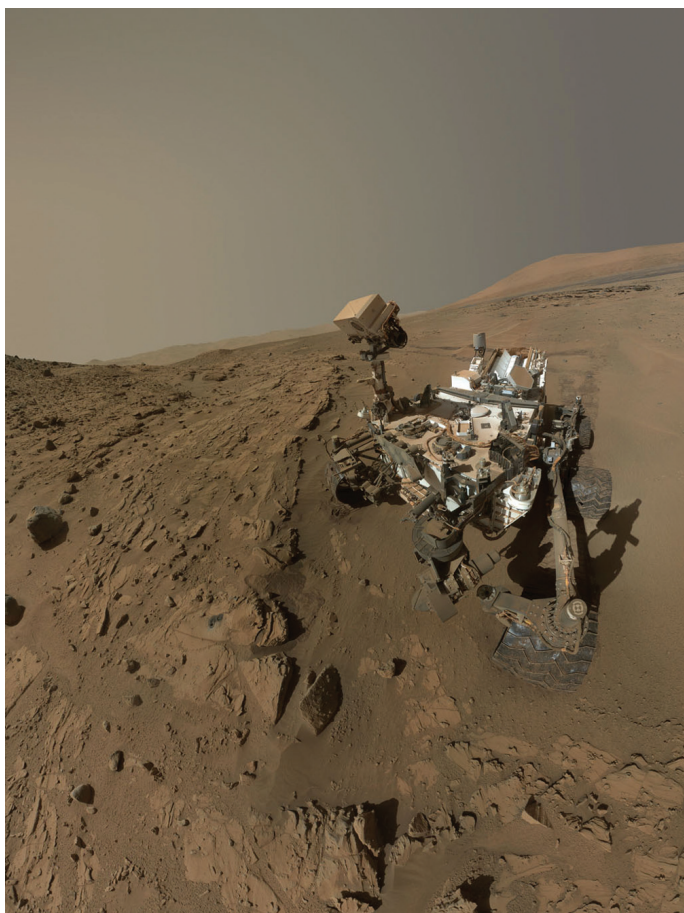


Figure 6 - Le rover américain Curiosity à la surface de Mars. © NASA.

moyenne, l'eau ne peut plus être stable à l'état liquide ; il est donc peu probable d'espérer trouver autre chose que des traces de vie passée. Cependant, connaissant les facultés extraordinaires du vivant terrestre pour s'adapter à des conditions extrêmes, on ne peut pas rejeter complètement l'éventualité que si la vie est apparue sur Mars, elle aurait pu trouver un moyen d'évoluer et de s'adapter au fur et à mesure que la planète a perdu son atmosphère et s'est asséchée. Mais avant cela, il faut bien évidemment qu'elle ait pu apparaître, ce qui n'est pas du tout établi. Probablement faudra-t-il recourir à un retour d'échantillons martiens sur Terre pour lever toute ambiguïté concernant d'éventuelles traces de vie passée ; l'instrumentation embarquée pour des missions spatiales est toujours beaucoup moins performante et versatile que les moyens d'analyse disponibles au sol.

Au-delà du système solaire, nous avons détecté à ce jour plus de 4 300 exoplanètes. Les statistiques qui peuvent être établies sur cet ensemble prévoient qu'entre 25 à 50 % des étoiles semblables au Soleil ou plus petites pourraient posséder une exoplanète semblable à la Terre dans leur zone habitable [19]. Il est impossible d'aller les explorer en raison de leur éloignement, mais il est certain que nous construisons un jour des télescopes capables d'analyser la composition de leurs atmosphères grâce à leur rayonnement qui nous parvient (notamment dans les domaines visibles et infrarouges). Certaines pourraient nous rappeler l'atmosphère de la Terre, d'autres pourraient être proches de celles de Mars ou Vénus, ou encore complètement inattendues. Les chimistes, biologistes, astronomes chercheront alors à savoir si nous avons une signature qui ne pourrait s'expliquer que par la présence d'une forme de vie.

Si nous finissons par découvrir de la vie ailleurs que sur Terre, il faut s'attendre à ce que cela ne soit pas une observation unique, une révélation, qui d'un jour à l'autre nous fera sortir de l'incertitude dans laquelle nous nous trouvons. Il s'agira probablement d'un écheveau d'indices qu'il faudra démêler pour constituer une preuve. La route est peut-être encore longue, mais nous traversons probablement le siècle au cours duquel nous pourrions répondre à la question : sommes-nous seuls dans l'Univers ? Cette quête et les réponses que nous pourrions y apporter seront par essence interdisciplinaires. Notre territoire d'investigation s'étend, nos outils s'affinent, nos connaissances tendent à aboutir à l'idée que sur un plan scientifique conceptuel, rien ne s'oppose à ce jour à ce que la vie existe ailleurs dans l'Univers. Il ne nous est cependant pas possible de parler en termes de probabilités, une seule forme de vie nous est connue à ce jour : la vie terrestre. Nous avons néanmoins désormais une démarche et des outils pour travailler.

- [1] J. Lederberg, Exobiology: approaches to life beyond the Earth, *Science*, **1960**, 132, p. 393-400.
- [2] S.L. Miller, The production of amino acids under possible primitive Earth conditions, *Science*, **1953**, 117, p. 528-529.
- [3] J.D. Sutherland, Opinion: Studies on the origin of life - the end of the beginning, *Nat. Rev. Chem.*, **2017**, 1, 0012.
- [4] A. Brack, Reflections on astrobiology, exobiology, bioastronomy, and cosmobiology, *Astrobiology*, **2012**, 12, p. 370-371.
- [5] [www.exobiologie.fr](http://www.exobiologie.fr); twitter : @SFExobio
- [6] H. Cottin *et al.*, Astrobiology and the possibility of life on Earth and elsewhere..., *Space Sci. Rev.*, **2017**, 209, p. 1-42.
- [7] E.A. Bell *et al.*, Potentially biogenic carbon preserved in a 4.1 billion-year-old zircon, *PNAS*, **2015**, 112, p. 14518-14521.
- [8] S. Kwok, Complex organics in space from Solar System to distant galaxies, *Astron. Astrophys. Rev.*, **2016**, 24, p. 1-27.
- [9] H.J. Cleaves *et al.*, A reassessment of prebiotic organic synthesis in neutral planetary atmospheres, *Orig. Life Evol. Biosph.*, **2008**, 38, p. 105-115.
- [10] R. Pascal, A. Pross, J.D. Sutherland, Towards an evolutionary theory of the origin of life based on kinetics and thermodynamics, *Open Biol.*, **2013**, 3, 130156.
- [11] F. Raulin *et al.*, Prebiotic-like chemistry on Titan, *Chem. Soc. Rev.*, **2012**, 41, p. 5380-5393.
- [12] M.H. Carr *et al.*, Evidence for a subsurface ocean on Europa, *Nature*, **1998**, 391, p. 363-365.
- [13] C.P. McKay *et al.*, The possible origin and persistence of life on Enceladus and detection of biomarkers in the plume, *Astrobiology*, **2008**, 8, p. 909-919.
- [14] N. Khawaja *et al.*, Low-mass nitrogen-, oxygen-bearing, and aromatic compounds in Enceladean ice grains, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **2019**, 489, p. 5231-5243.
- [15] K. Altwegg *et al.*, Prebiotic chemicals - amino acid and phosphorus - in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, *Sci. Adv.*, **2016**, 2, e1600285.
- [16] A. Bardyn *et al.*, Carbon-rich dust in comet 67P/Churyumov-Gerasimenko measured by COSIMA/Rosetta, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **2017**, 469(suppl. 2), p. S712-S722.
- [17] J.P. Bibring *et al.*, Global mineralogical and aqueous mars history derived from OMEGA/Mars express data, *Science*, **2006**, 312, p. 400-404.
- [18] C. Freissinet *et al.*, Organic molecules in the Sheepbed Mudstone, Gale Crater, Mars, *J. Geophys. Res. Planets*, **2015**, 120, p. 495-514.
- [19] J.N. Winn, D.C. Fabrycky, The occurrence and architecture of exoplanetary systems, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, **2015**, 53, p. 409-447.

### Hervé COTTIN,

Professeur d'astrochimie, président de la Société Française d'Exobiologie, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), Université Paris-Est Créteil, Université de Paris, CNRS UMR 7583, Institut Pierre Simon Laplace, Créteil.

\*[herve.cottin@lisa.ipsl.fr](mailto:herve.cottin@lisa.ipsl.fr), Twitter : @hcottin