

Entre analogies et différences En(une)quête d'Autres dis-semblables...

Between analogies and differences
Inquiry (a)quest for dissimilar Others...

Marie-Christine Maurel¹

¹ Sorbonne-Université et MNHN

RÉSUMÉ. Des vies extra-terrestres sont-elles envisageables ? Georges Chapouthier nous invite à réfléchir à cette quête immémorielle qui a donné lieu au fil du temps et des avancées technologiques à de nombreuses interprétations. De bizarreries en rectifications, avec imagination et inventivité la Science avance...

ABSTRACT. Are extraterrestrial lives possible? Georges Chapouthier invites us to think about this immemorial quest which has given rise to numerous interpretations over time and technological advances. From oddities to rectifications, with imagination and inventiveness, Science advances...

MOTS-CLÉS. Vies dans le système solaire, Panspermies, Exoplanètes, Habitabilité, Deinococcus Radiodurans, Xenobot, Xenobiologie.

KEYWORDS. Lifes in the solar system, Panspermies, Exoplanetes, Habitability, Deinococcus Radiodurans, Xenobot, Xenobiology.

Introduction

En janvier 2021 Avi Loeb, ancien directeur du département d'astronomie de l'université Harvard, conseiller scientifique auprès de la Maison Blanche pour tout ce qui concerne l'espace, assure qu'un petit corps interstellaire baptisé *Oumuamua*¹ a été repéré en octobre 2017 par un télescope installé sur l'Observatoire du Haleakalā à Hawaï. Selon Loeb il s'agit d'un véhicule artificiel, une voile solaire poussée par la lumière du soleil et déposée il y a des millions d'années par une civilisation cosmique aujourd'hui disparue...

Il y a quelques mois, en octobre 2021, le « spécialiste des ovnis » Jeremy Corbell partageait les images d'un PAN (pour Phénomène Aérien Non identifié) disparaissant dans l'océan au large de San Diego, en Californie.

Bill Nelson, ancien astronaute et actuel administrateur de la NASA, a rappelé que plus de 300 observations reconnues d'objets volants non identifiés avaient été enregistrées par les autorités américaines depuis 2004.

« J'ai parlé à ces pilotes. Ils ont vu quelque chose, leurs radars se sont verrouillés dessus, et ils ignorent de quoi il s'agissait. Nous ne savons pas non plus de quoi il s'agit », a-t-il expliqué au professeur Larry Sabato, directeur du Center for Politics de l'Université de Virginie. « Nous espérons simplement que ce genre de technologie n'appartient pas à l'un de nos adversaires ici sur Terre... »

¹ Oumuamua signifie en hawaïen « premier messager d'une contrée lointaine ».

Compte tenu de ces observations, le patron de la NASA n'a pas non plus exclu qu'il puisse s'agir d'une technologie extraterrestre :

« Qui suis-je pour dire que la planète Terre est le seul emplacement d'une forme de vie civilisée et organisée comme la nôtre ? », interroge le patron de la NASA Bill Nelson.

Dans ce contexte intrigant et pour certains euphorisant, l'interrogation de Georges Chapouthier sur l'existence d'une vie ailleurs est actuelle, brûlante... Vies passées ? présentes ? La quête des scientifiques et autres chercheurs d'extra-terrestres se poursuit toujours avec ardeur et imagination...

Comment aborder toutes les questions qui entourent cette recherche ? comment voir, là bas dans des mondes si lointains ce que nous ne sommes pas capable de conceptualiser ?

Avant de décrire brièvement les différents milieux planétaires, un peu d'histoire des sciences nous montre combien nos observations dépendent des outils d'observation et technologiques, voire sont biaisées par eux. Ce petit détour historique donnera un panorama susceptible d'éclairer les balbutiements de nos avancées contemporaines et l'emprise de la technique sur la science.

L'invention du microscope : entre ingéniosité et bévues...

Dès 1590, un lunetier de Middelbourg, Zaccharias Janssen, inventait avec son fils Hans un outil ingénieux, le microscope, qui permit au XVII^{ème} siècle l'observation de la nature et le développement de l'expérimentation. Malgré le manque de netteté de l'image, l'invention se répandit rapidement.

Une curiosité sans limite se manifeste alors au tout début de l'observation d'« animaux aériens, terrestres et aquatiques » produisant parfois des descriptions assez fantaisistes. Ainsi, celle de Louis Joblot, publiée avec l'approbation de l'Académie des Sciences de Paris (séance du 5 décembre 1716), où il décrit ce qu'il voit dans neuf infusions². Il y découvre en particulier un animal nouveau apparu au bout de 8 jours dans une infusion d'anémone :

« Tout le dessus de son corps est couvert d'un beau masque bien formé, de figure humaine, parfaitement bien fait, comme on en peut juger par le dessin où l'on voit ses pattes et une queue sortant de dessous ce masque qui est couronné d'une coëffure singulière » (fig. 1).

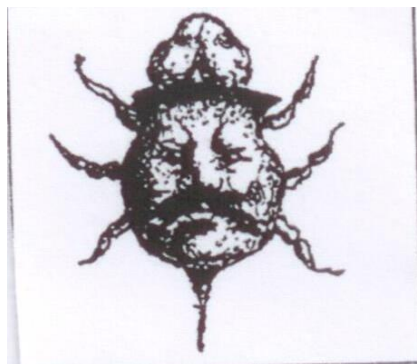


Figure 1. Animal « absolument nouveau »...

² H. Colin, (1926) *De la matière à la vie*, Gabriel Beauchesne éditeur. Paris.
M-C Maurel, (1994), *Les origines de la vie*, Syros. Paris.

Malgré les observations plus précises dues à l'Anglais Nehemiah Grew³ et à l'Italien Marcello Malpighi⁴ ce type de description provoqua une réelle défiance à l'égard du microscope (le grand anatomiste français de la fin du XVIII^{ème} siècle, Xavier Bichat⁵ ne voulut jamais s'en servir...).

C'est pourtant le microscope qui permit d'aborder le problème de la génération des organismes vivants, un des pôles de la recherche aux XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles, comme en témoignent de nombreuses lettres de Van Leeuwenhoek traitant des spermatozoïdes, ces *animalcules* dans lesquels « on peut voir » le futur animal déjà formé dans le germe primordial. C'est ainsi que s'inscrivit la théorie de la préformation et de la génération spontanée.

Contre la génération spontanée... une alliée inattendue, la panspermie

Dans la deuxième moitié du XVIII^{ème} siècle, les expériences reprennent. Bien que la génération spontanée ne soit toujours pas démontrée par l'expérience, bon nombre de savants ne sont pas convaincus.

C'est ainsi que Louis Pasteur montrait à nouveau en 1860, après Francesco Rédi en 1668 et l'abbé Lazzaro Spallanzani en 1765, que la matière organique restait stérile, à condition d'éviter toute contamination par des organismes vivants. Ces études rencontrèrent l'opposition de l'Anglais Henry Charlton Bastian⁶ et du Français Félix Archimède Pouchet⁷ qui défendaient avec ferveur l'idée de la génération spontanée de la vie.

D'autres y trouvèrent, au contraire, la démonstration que la vie n'a pas d'origine, qu'elle est donc éternelle. C'est pourquoi ils se tournèrent vers la *panspermie*. Selon cette théorie, défendue par d'éminents savants de l'époque, tel le Suédois Svante Arrhenius⁸, des corps protoplasmiques auraient existé depuis toujours sur une planète extra-terrestre et auraient voyagé dans l'espace en colonisant d'autres corps célestes. Théorie reprise et développée par Hermann von Helmholtz en 1878.

Rappelons aussi que selon Lord Kelvin en 1871, suite aux chocs de petits corps célestes à la surface d'une planète de notre Système solaire où la vie avait pu démarrer, certains organismes vivants avaient pu se trouver piégés au cœur des éjectas propulsés dans l'espace pour retomber un jour sur Terre à l'intérieur des météorites.

Ces affirmations de la part de scientifiques de renom eurent un très fort impact sur de non moins éminents scientifiques français. Citons van Tieghem, professeur du Muséum d'Histoire Naturelle et Camille Flammarion, directeur de l'observatoire de Juvisy, qui écrivait en 1884⁹ :

« Oui c'est la vie universelle et éternelle qui règne sur nos têtes... des mondes vastes et peuplés comme le nôtre... Les humanités du ciel ne sont plus un mythe. Déjà le télescope nous met en relation avec leurs patries ; déjà le spectroscope nous fait analyser l'air qu'elles

³ Grew (1641-1712)

⁴ Malpighi (1628-1694)

⁵ Bichat (1771-1802)

⁶ Bastian (1837-1915)

⁷ Pouchet (1800-1876)

⁸ 1859-1927, prix Nobel de chimie en 1903.

⁹ Camille Flammarion (1884), *Terres du ciel. Voyage astronomique sur les autres mondes*, C. Marpon et E. Flammarion éditeurs. Paris.

respirent ; déjà les uranolithes nous apportent les matériaux de leurs montagnes... La vie se développe sans fin dans l'espace et dans le temps. »

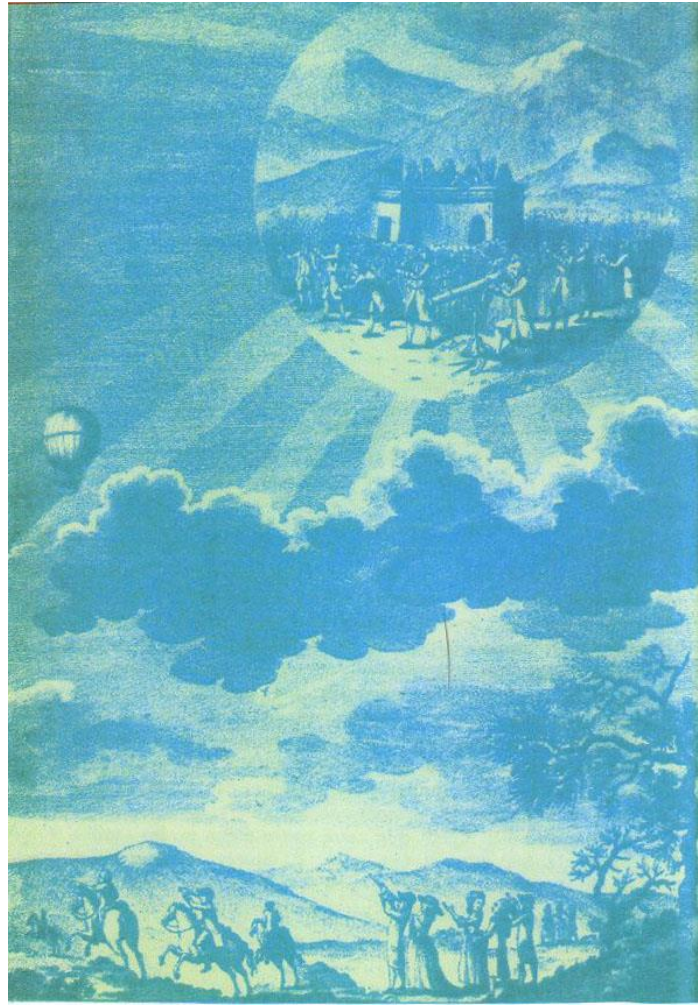


Figure 2. L'art aussi était mis au service de la vulgarisation scientifique. (gravure de la fin du 18e siècle)

Sur Terre

Nos connaissances de la vie sur Terre sont aujourd'hui encore très limitées. 20% des organismes vivants sont connus qui de plus ne représentent que le millième de ceux qui ont existé depuis les origines¹⁰... et si la vie terrestre reprenait le chemin emprunté il y a 4 milliards d'années, personne ne peut certifier qu'elle suivrait le même itinéraire. Les formes, les métabolismes, les durées de vie... rien ne serait semblable à ce que nous observons du passé et du présent. L'histoire ne se répète pas.

Par conséquent si la vie a existé – ou existe ailleurs – bénéficiant des mêmes conditions planétaires initiales que sur Terre, elle n'a *a fortiori* pas la même histoire que celle que nous pouvons (difficilement) identifier sur notre Planète.

¹⁰ Thomas and Segata .(2019), *BMC Biology* 17:48 <https://doi.org/10.1186/s12915-019-0667-z> *Multiple levels of the unknown in microbiome research.*

Camilo Mora, Derek P. Tittensor, Sina Adl, Alastair G. B. Simpson, Boris Worm. (2011) *How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? PloS Biology* 9, 8 | e1001127.

Des chercheurs du Deep Carbon Observatory ont révélé que la vie profonde représente une masse de 15 à 23 milliards de tonnes de carbone, soit 245 à 385 fois plus que celle des 7 milliards d'humains. Cela n'avait jamais été quantifié. Des centaines de forages, parfois jusqu'à 2,5 km sous le plancher océanique, sous les continents et les océans ont été effectués. Ces organismes vivent sous la surface, dans la croûte terrestre profonde, et ont apparemment évolué séparément de la vie en surface.

Certains, soumis à une pression extraordinaire et privés de nutriments, ne se reproduisent pas et n'ont aucune activité métabolique. Pour d'autres, la source d'énergie n'est pas le Soleil et la photosynthèse et « ce qui fait démarrer les communautés, c'est la chimiosynthèse, elles tirent leur énergie des roches, quand des roches s'altèrent » déclare Bénédicte Menez, responsable de l'équipe géomicrobiologie à l'Institut de Physique du Globe de Paris.

Ces découvertes changent aussi notre regard sur la vie ailleurs car savoir que des microbes peuvent vivre à des niveaux de pression et de température extrêmes peut nous aider à mieux chercher sur d'autres planètes du système solaire.

Ainsi la bactérie *Deinococcus radiodurans*, extrémophile qui résiste aux rayonnements UV, aux radiations ionisantes, au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), au vide, aux acides, aux températures extrêmes, à la dessiccation, à la famine... est revenue saine et sauve d'un séjour de 3 ans sur les parois externes de la Station Spatiale Internationale (ISS)... La survie dans l'espace de *D. radiodurans* laisse ainsi entrouverte l'hypothèse d'un transfert de vie d'un monde à un autre...

Toutes sortes de conjectures sont permises et certains scientifiques spéculent à partir de la résistance spectaculaire de la structure cellulaire de *D. radiodurans* et du système de réparation de l'ADN qui lui permet de « ressusciter » quelques heures après sa mort.

Sans compter les extrapolations autour du secret de l'immortalité, d'un éventuel élixir de jouvence pour l'humanité et les pronostics sur le futur d'un « disque dur à ADN » résistant à un éventuel holocauste nucléaire...

Les enjeux autour d'une autre forme de vie, de la vie ailleurs, sont multiples et porteurs d'espérance !

Malgré toutes ces avancées, les interrogations sont encore fort nombreuses. Comment pourrions-nous être sûrs d'avoir trouvé la vie si elle est matériellement différente de la vie sur Terre, et par extension, comment vérifier qu'un environnement est vraiment sans vie, dans un échantillon de fragment de glace d'Encelade, satellite de Saturne¹¹ ?

Dans ce « but » la mission spatiale *Dragonfly* (Libellule) a été sélectionnée en 2019 par la NASA pour un départ prévu en 2027 et une arrivée sur Titan, autre satellite de Saturne, en 2034¹².

¹¹ Saturne est la 2^{ème} planète géante gazeuse en partant du Soleil et la 2^{ème} plus grande planète du Système solaire après Jupiter. Son noyau est probablement constitué d'un mélange de roche et de métal fondu. 7 satellites de Saturne sont assez grands pour que la gravité leur ait donné une forme sphérique : Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa, Titan et Japet. Titan est notamment le seul satellite avec une atmosphère dense constituée principalement de diazote et d'un peu de méthane.

¹² Jason Davis (2019), « NASA Greenlights Dragonfly, a Quadcopter Mission to Titan », The Planetary Society.



Figure 3. *Dragonfly est un octorotor de 450 kg équipé d'instruments d'analyses (capteurs, spectromètres de masse, caméras...).*

Si près de la Terre, que se passe-t-il sur la Lune ?

La Lune située à 384 400 km de la Terre est facilement observable. Plaines, chaînes de montagnes, cirques et cratères ont fait l'objet de nombreuses hypothèses, d'autant que l'on aperçoit depuis longtemps des changements permanents de reliefs, de teintes, taches et autres voiles passagers... Il était donc urgent de se rendre sur place pour y voir de plus près !

Les passagers se pressèrent, au moins dans les aventures de Jules Verne, invités à attacher leurs ceintures dans cette gravure illustrant son livre de 1865, *De la Terre à la Lune*.

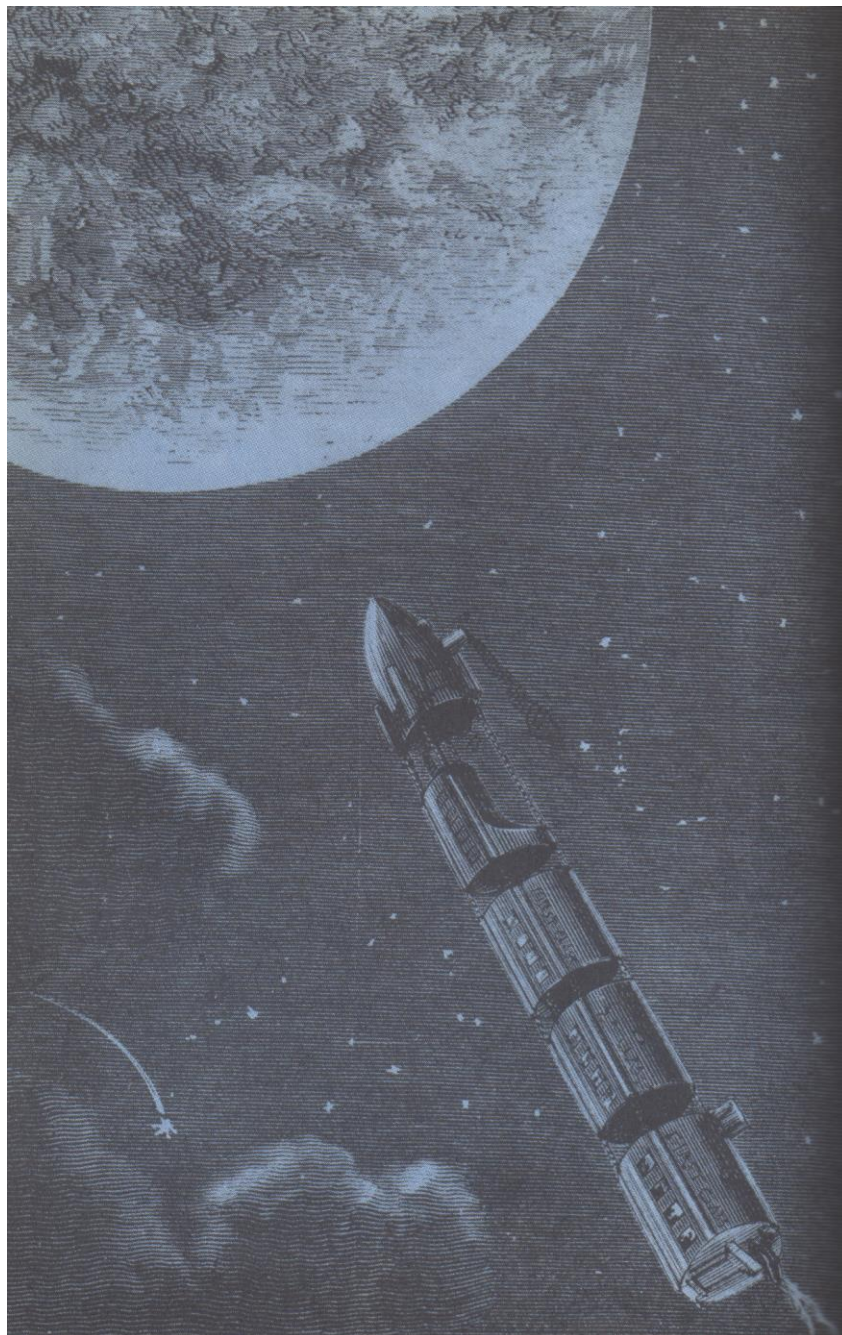


Figure 4. *De la Terre à la Lune, Jules Verne*

ou encore dans cette représentation de la science « en progrès » comme nous le voyons ci-dessous (Fig. 5)¹³.

¹³ Gravures reproduites dans Robert Tocquet, *La vie sur les planètes, Le Rayon de la Science*, Le Seuil, 1960.



Figure 5. Les voyageurs pour la Lune, en voiture ! (gravure de mai 1848)

ou encore avec humour (Fig. 6) :



Figure 6. *L'espace avec le sourire (Gravure du 19e siècle Grande-Bretagne)*

Et sur Mars ?

Quatrième planète du système solaire, Mars est la planète tellurique la plus proche de la Terre. On peut l'observer à l'œil nu, avec son éclat bien plus faible que celui de Vénus mais qui peut dépasser l'éclat maximum de Jupiter selon que sa distance à la Terre varie de 55,7 à 401,3 millions de kilomètres. Mars est souvent surnommée « la planète rouge » en raison de l'abondance d'oxyde de fer rouge (hématite) à sa surface.

La recherche de vie sur la planète Mars est évoquée depuis longtemps, en particulier depuis que l'astronome italien Schiaparelli déclara en 1877 avoir observé des « canaux » (Fig. 7), qui suscitèrent la curiosité de nombreux astronomes tels que Flammarion, Percival Lowell, Pickering, etc...

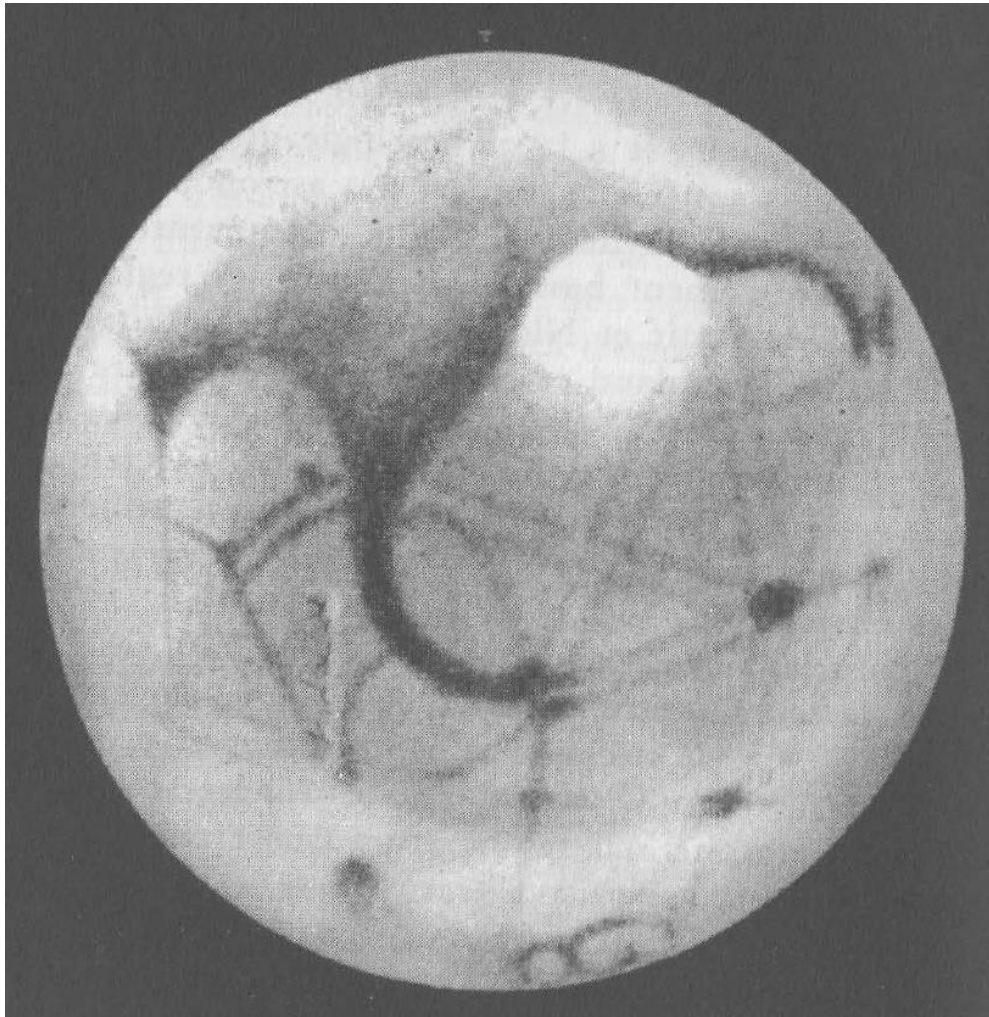


Figure 7. *Les canaux de Mars, d'après Schiaparelli*

Le dédoublement irrégulier des canaux et d'autres particularités rendirent l'existence d'êtres martiens incontestable à leurs yeux. Controverses et polémiques diverses conduisirent même à entrer en relation télépathique avec une « martienne » telle que put l'imaginer la célèbre médium suisse Catherine Elise Müller (au nom d'emprunt Hélène Smith), qui déchiffrait en 1897 un texte écrit en martien (Fig. 8).

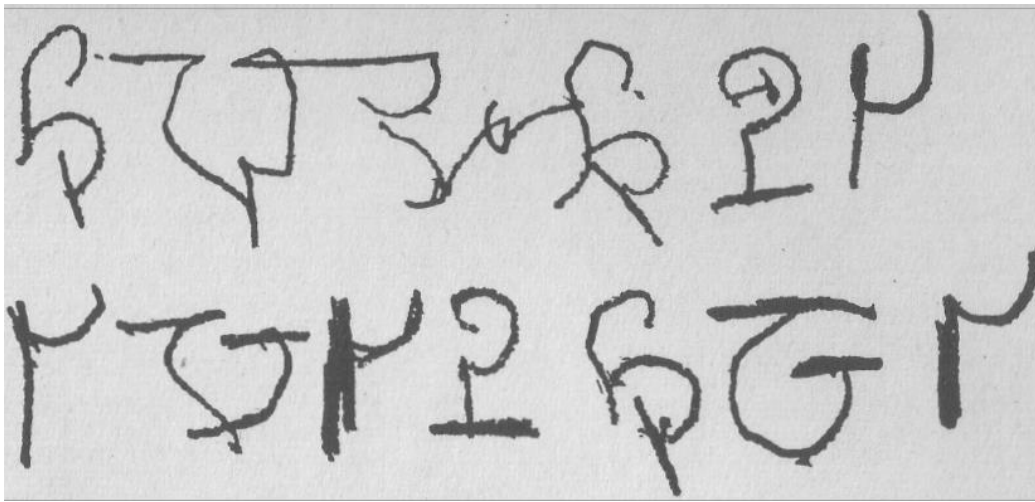


Figure 7. L'écriture martienne, telle que la déchiffrait couramment le "médium" Hélène Smith.

La croyance en l'existence des canaux martiens dura de la fin du XIX^{ème} siècle au début du XX^{ème} siècle et marqua l'imagination populaire, contribuant au mythe de l'existence d'une vie intelligente sur la quatrième planète du Système solaire.

Toutes ces spéculations ont été balayées par les sondes spatiales qui ont pu étudier Mars : dès 1965, *Mariner 4* permit de découvrir une planète avec une surface cratérisée rappelant celle de la Lune et possédant une atmosphère ténue. Depuis lors, Mars fait l'objet de programmes d'exploration ambitieux : de tous les astres que nous connaissons, c'est en effet celui qui présente l'environnement ayant le plus de similitudes avec celui de notre planète. Cette exploration intensive a révélé l'existence d'une époque reculée – le Noachien – au cours de laquelle les conditions en surface devaient être assez similaires à celles de la Terre à la même époque, avec la présence de grandes quantités d'eau liquide ; la sonde Phoenix a ainsi découvert en 2008 de la glace d'eau à une faible profondeur dans le sol.

Nul doute que les générations futures de Terriens aménageront des installations sur cette planète, pour y vivre, travailler et peut-être rechercher encore et toujours des traces de vie...

Il faut lire les pages enthousiastes de Nathalie Cabrol, directrice du Centre de recherche Carl Sagan de l'Institut SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) décrivant avec passion les étapes de l'exploration martienne qu'elle a vécues au plus près¹⁴ avec les rovers Spirit et Opportunity.

Habitabilité et « pluralité des mondes »

« Il est donc d'innombrables soleils et un nombre infini de terres tournant autour de ces soleils, à l'instar des sept « terres » [la Terre, la Lune, les cinq planètes alors connues : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne] que nous voyons tourner autour du Soleil qui nous est proche. » Puis « Du moins ces mondes n'en sont-ils pas moins habités ni moins nobles. Car il est impossible qu'un être rationnel suffisamment vigilant puisse imaginer que ces mondes innombrables, aussi magnifiques que le nôtre ou encore plus magnifiques, soient dépourvus d'habitants semblables et même supérieurs. » C'est ainsi que s'exprimait le grand Giordano Bruno en 1584.

¹⁴ Nathalie Cabrol (2021), *Voyage aux frontières de la vie*, pp 147-184. Éditions du Seuil.

Plus tard, le secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences Bernard Le Bouyer de Fontenelle, s'interrogeait « Sommes-nous seuls dans l'Univers ? »¹⁵. Il démontrait à une Marquise qui se promenait avec lui au clair de lune sous le ciel étoilé, que la Lune était habitée « aussi bien que les autres planètes... ainsi les habitants de Mercure sont fous à force de vivacité, ceux de Saturne sont des gens bien flegmatiques qui « prennent toujours un jour pour répondre à la moindre question qu'on leur fait ».

Aujourd'hui un nouveau concept, l'habitabilité, examine cette controverse à la recherche de « biosignatures » très terracentrées qui limitent désormais cette lente investigation.

L'habitabilité d'une planète se définit par la capacité de celle-ci à développer la vie.

Sur Terre, les éléments nécessaires au maintien et au développement de la vie sont une source d'énergie et différents modèles sont proposés à l'appui des origines de la vie sur Terre¹⁶. La notion d'habitabilité limitée par comparaison aux conditions biologiques et écologiques terrestres nécessite cependant un examen géophysique, géochimique et astrophysique de la zone désignée par cette recherche.

Elle ne peut être réduite à une extrapolation des conditions terrestres telle que la présence d'eau liquide considérée comme indispensable à un écosystème viable.

La fin du XX^{ème} siècle a été le théâtre de deux découvertes majeures. Tout d'abord, l'observation et l'exploration de planètes et satellites du Système solaire ont fourni des informations essentielles qui ont permis de définir leurs caractères géophysiques. D'autre part, la découverte de planètes extrasolaires (exoplanètes), qui a débuté en 1995 et s'est accélérée depuis, a été le second tournant important. Elle a confirmé que le Soleil n'est pas la seule étoile à abriter des planètes et a élargi le champ des recherches sur l'habitabilité au-delà du Système solaire¹⁷.

Biochimie dans des liquides exotiques¹⁸

Sur Terre, le seul liquide commun accessible est l'eau qui est compatible avec une grande diversité de chimies du carbone, et en particulier la chimie des polymères, assemblages composés des éléments CHON¹⁹. Parce qu'il a été affirmé avec conviction que la vie terrestre basée sur ces 4 éléments est la seule biochimie plausible, et plus précisément que la biochimie terrestre des acides nucléiques, des protéines et des sucres est probablement « universelle », la zone habitable (ZH) circumstellaire est considérée comme la région où l'eau liquide pourrait être stable à la surface d'une planète.

« ZH galactique » désigne par extension la région d'une galaxie où pourraient exister des étoiles ayant des planètes sur lesquelles l'eau liquide est stable.

¹⁵ Fontenelle (1686), *Entretiens sur la pluralité des mondes*.

Giordano Bruno (1584), *L'Infini, l'Univers et les Mondes*.

¹⁶ Marie-Christine Maurel, (2017), *Les origines de la vie*, Éditions de poche, Le Pommier.

¹⁷ Lammer et al. (2009) "What makes a planet habitable?", *The Astronomy and Astrophysics Review*, volume 17, pages 181–249 ; Forget, F. (2013), "On the probability of habitable planets". *International Journal of Astrobiology* ; Seager, S. (2013), "Exoplanet Habitability", *Science*, vol. 340.

¹⁸ Pour plus de détails voir Bains, W. *Many Chemistries could be used to build living systems*. *Astrobiology* 2004, 4, 137–167.

¹⁹ CHON : Carbone, Hydrogène, Oxygène, Azote.

Cette conclusion est bien sûr discutable car c'est la nature du liquide dans lequel la vie évolue qui définit la chimie la plus appropriée. Des travaux théoriques suggèrent que des fluides autres que l'eau, s'ils sont abondants à l'échelle cosmique, pourraient constituer des environnements dans lesquels une (des) (bio)chimie(s) différentes seraient susceptibles d'évoluer. Cette hypothèse discutée dans le contexte de l'« ammonochimie » est proposée pour des océans internes des satellites galiléens²⁰, satellites de Jupiter, Io, Europa, Ganymède et Callisto. Une « (bio)chimie du silicium », plus spéculative dans l'azote liquide, est également à l'étude.

Récemment, des océans d'eau et des mélanges eau/ammoniac ont été découverts au sein du Système solaire dans Callisto et Europa. Ces « océans » extrêmement basiques sont problématiques si l'on s'en tient aux acides nucléiques et protéines terrestres qui seraient rapidement hydrolysés et détruits dans ces conditions.

Des mélanges d'eau liquide et d'ammoniac existent également sur les planètes géantes. Une grande variété de liquides, y compris des solvants organiques, de l'ammoniac, de l'acide fluorhydrique, du trifluorure de bore (BF₃), de l'acide sulfurique et une gamme de sels, sont utilisés en chimie de synthèse au laboratoire, montrant que des solvants différents ne sont pas *a priori* incapables de réaliser une chimie complexe. Alors sont-ils susceptibles d'exister sous forme liquide dans un contexte cosmique ?

L'existence d'océans d'éthane et de méthane sur Titan a également été postulée. Les panaches dans l'atmosphère de Triton (la lune de Neptune) ont été interprétés comme des geysers d'azote qui pourraient être générés lorsque la lumière du soleil qui brille à travers une « serre » de glace d'azote translucide à la surface de la lune fait fondre puis vaporise l'azote, provoquant la formation possible de bassins de subsurface puis leur éruption.

Ces liquides sont-ils cosmiquement significatifs ?

Si une forme de « vie » est possible dans l'eau/ammoniac, le méthane/éthane ou l'azote, dans les liquides plus exotiques de Titan ou de Triton, elle doit avoir une chimie différente de celle de la vie terrestre. Autre interrogation : la biochimie terrestre transportée en ces lieux lointains pourrait-elle s'adapter à ces conditions ?

La « vie » en silicium ?

L'étude de la vie dans des environnements extrêmement froids est problématique car presque tous les composés se dissolvent très mal à des températures cryogéniques. Les silanols, analogues des alcools contenant du silicium, sont des exceptions possibles. D'autre part, les composés silicones sont souvent plus réactifs chimiquement que les analogues carbonés. Ainsi, la chimie du silicium, pourrait être plus attrayante que le carbone pour la chimie de base d'une « vie » dans les liquides extrêmement froids (plus précisément dans l'azote liquide, car c'est le liquide dans lequel les mesures de solubilité ont été effectuées). Mais la chimie du silicium peut-elle répondre aux exigences structurales que nous connaissons ?

Le biochimiste américain Norman Pace a rejeté le silicium comme élément central d'une autre biochimie pour différentes raisons analysées dans l'article cité ci-dessous²¹. Cependant notons que la silice est utilisée dans la biochimie terrestre comme élément structurel dans les diatomées et les plantes.

²⁰ Observés pour la première fois par Galilée en janvier 1610 ; découverte publiée dans *Sidereus nuncius* en mars 1610.

²¹ Pace, N.R. (2001), "The universal nature of biochemistry", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98, 805–808.

Les polyols de silane peuvent également former des assemblages macro-moléculaires flexibles sous forme de feuilles, de cordes, de tubes et d'autres formes, similaires à celles formées par les bicouches lipidiques en biochimie du carbone.

Si nous sortons d'une pensée exclusivement terracentrique, peut-on imaginer des « vies » ici et ailleurs en formes de tube, cordes et autres structures flexibles ?

Enfin jusqu'à présent le terme « fluide » a été assimilé à « liquide ». Mais il existe des gaz très denses proches de leur point critique [solvants quasi-critiques ou fluides supercritiques (SCF)] qui pourraient fournir l'environnement dense et mobile dans lequel la chimie en « solution » pourrait se produire. Le dioxyde de carbone supercritique est bien connu pour son application industrielle en tant que solvant capable de dissoudre de nombreux matériaux insolubles dans d'autres systèmes de solvants liquides, y compris une variété de produits biochimiques complexes tels que les stéroïdes, les bases azotées et les lipides.

Aucun des arguments ci-dessus ne prouve que quelque chose d'aussi exotique existe réellement. Mais ces réflexions suggèrent que d'autres chimies ne sont pas invraisemblables. La Biologie de synthèse et la Xénobiologie²² ouvrent la voie à la recherche d'autres « formes de vie ».

Au-delà du Système solaire ?

Une exoplanète, ou planète extrasolaire, est une planète gravitant autour d'une étoile autre que le soleil et donc située en dehors du Système solaire. Les premières exoplanètes furent détectées dans les années 1990 à l'observatoire de Haute-Provence par Michel Mayor et Didier Queloz²³. On en compte aujourd'hui 4 777 et il en existerait au moins 100 milliards rien que dans notre galaxie, la Voie lactée.

Dans les décennies à venir, les observatoires spatiaux et terrestres à la recherche de signatures de vie offriront une opportunité sans précédent de sonder les atmosphères et les surfaces d'exoplanètes potentiellement habitables. Des méthodes de détection visent désormais à mettre en évidence des planètes aux caractéristiques proches de celles de la Terre orbitant dans la zone habitable de leur étoile.

Ainsi à Kourou, en Guyane, le télescope spatial James Webb, ou JWST (successeur d'Hubble), a décollé à bord d'un lanceur Ariane V le samedi 25 décembre 2021. Ce lancement a propulsé dans l'espace le « télescope du siècle » replié sur lui-même et encapsulé au sein du lanceur. Après un mois de trajet, le James Webb explorera pendant plusieurs années l'Univers et son passé, comme aucun autre télescope n'a jamais pu le faire auparavant. Sa détection des infrarouges permettra l'analyse de l'atmosphère de nouvelles exoplanètes. Il pourrait même selon certains identifier des traces de vies extraterrestres.

On trouvera dans les articles cités²⁴ ci-dessous les progrès réalisés dans les nouvelles méthodes d'investigation à distance. Il s'agit toujours de trouver, malgré les limites que nous avons évoquées plus

²² M-C Maurel et M. Cassé. (2018) *Xénobiologie, vers d'autres vies*. Éditions Odile Jacob.

²³ Michel Mayor et Didier Queloz ont reçu le prix Nobel de physique 2019 pour leur découverte de la première exoplanète en 1995 depuis l'Observatoire de Haute-Provence, alors uniquement CNRS, aux côtés de James Peebles pour ses découvertes théoriques dans le domaine de la cosmologie physique.

²⁴ Edward W. Schwieterman et al. (2018) "Exoplanet Biosignatures: A Review of Remotely Detectable Signs of Life", *Astrobiology*, Volume 18, 6, 663–708.

Des Marais, D.J., Harwit, M.O., Jucks, K.W., Kasting, J.F., Lin, D.N.C., Lunine, J.I., Schneider, J., Seager, S., Traub, W.A., and Woolf, N.J. (2002), "Remote sensing of planetary properties and biosignatures on extrasolar terrestrial planets",

haut, des « signatures » analogues à celles que nous connaissons sur Terre et qui aideraient à la recherche de la vie ailleurs...

Entre enthousiasme et craintes, d'autres questions surgissent...

Des ordinateurs créés par des êtres vivants, sont des machines non vivantes capables de traiter de l'information. Ils peuvent ensuite fournir des simulations évolutives. Ainsi l'espace du « vivant » s'élargit avec des machines selon un concept où aucun des deux partenaires ne peut persister indépendamment l'un de l'autre, à l'instar du mutualisme au cours duquel des collaborations entre espèces différentes se produisent sans contact direct et interne. Pensons par exemple à certaines fourmis qui se nourrissent du jus sucré produit par les pucerons. Si un prédateur dérange et attaque les pucerons, les fourmis n'hésiteront pas à défendre les pucerons, source principale de leur alimentation.²⁵

Robots ou organismes²⁶ ?

Des scientifiques des universités du Vermont et de Tufts ont « découvert une toute nouvelle forme de reproduction biologique et ont appliqué leur découverte pour créer les tout premiers robots vivants auto-réplicatifs »²⁷. Ces machines biologiques assemblées à partir de cellules souches de grenouille sont appelées « *xenobots* », et pourraient être utilisées pour nettoyer les déchets radioactifs, collecter des microplastiques dans les océans... Des bio-machines capables en quelque sorte de se nourrir de nos déchets.

La taille des plus petits xénobots devraient permettre le transport de médicaments dans le corps humain ou l'élimination des plaques d'athérome ou les cellules cancéreuses.

Contrairement aux robots mécaniques, ils ont une capacité de reconstitution et d'autoréparation. De plus, ils sont supposés survivre pendant des semaines dans des environnements aqueux sans nutriments supplémentaires. Grâce à l'intelligence artificielle, les chercheurs ont ensuite testé plusieurs milliards de formes corporelles pour les xénobots.

Ceux-ci sont-ils transportables sur d'autres planètes et/ou existe-t-il de telles « machines vives » des im-vies quelque part dans l'Univers ? On ne peut s'empêcher d'y penser... Isaac Asimov a exploré dans ses ouvrages de science-fiction certaines planètes sur lesquelles vivent les Solariens chacun assisté de robots ...

Théoriquement et à condition de ne pas vendre son âme à une machine, ces recherches peuvent être source d'inspiration et de progrès considérables. Pour cela, il faut, comme le dit André Leroi-Gourhan, que « l'homme s'accoutume à être moins fort que son cerveau artificiel, comme ses dents sont moins

Astrobiology 2, 153–181.

Rosanne Di Stefano, Julia Berndtsson, Ryan Urquhart, Roberto Soria, Vinay L. Kashyap *et al.*, "A possible planet candidate in an external galaxy detected through X-ray transit", *Nature Astronomy*, 25 octobre 2021.

²⁵ Dans "2001 L'Odyssée de l'espace" de Stanley Kubrick, David et Frank sont censés vivre « en symbiose » avec HAL qui doit les conduire à leur but au-delà de Jupiter et les protéger...on connaît la suite !

²⁶ Mike Silver, "Tufts Now", 31 mars 2021

²⁷ "Kinematic self-replication in reconfigurable organisms", *Proceedings of the National Academy of Sciences* (2021). DOI : 10.1073/pnas.2112672118

fortes qu'une meule de moulin et ses aptitudes aviaires négligeables auprès de celles du moindre avion à réaction »²⁸.

Il reste encore beaucoup à dire sur cette recherche sans fin d'autres mondes, d'autres êtres que nous ne pouvons imaginer. Un dégradé d'humains sur des dizaines de planètes ? des androïdes ? des puces lexicographes ? des chiens volants ? des êtres hétéroclites ... ? des êtres qui se procurent l'énergie nécessaire en provenance de leur étoile tout comme ces bactéries, plantes et autres animaux terrestres photosynthétiques²⁹ ?

« Etres aux mondes » extra-ordinaires, organiques ? mécaniques ? immatériels ? spirituels ? Créations inamissibles de la Nature.

Ce qui compte dans cette quête c'est le regard passionné porté vers ce que nous ne connaissons pas, force motrice de la Recherche Scientifique. Tout un Art !

²⁸ André Leroi-Gourhan, *Le Geste et la parole*, II, Paris, Albin Michel, 1964.

²⁹ *Elysia Chlorotica* (élysie émeraude) est une espèce de gastéropodes opisthobranches marins (limace de mer) décrite pour la première fois en 1870 par Augustus Addison Gould.