

De l'exobiologie à l'astrobiologie

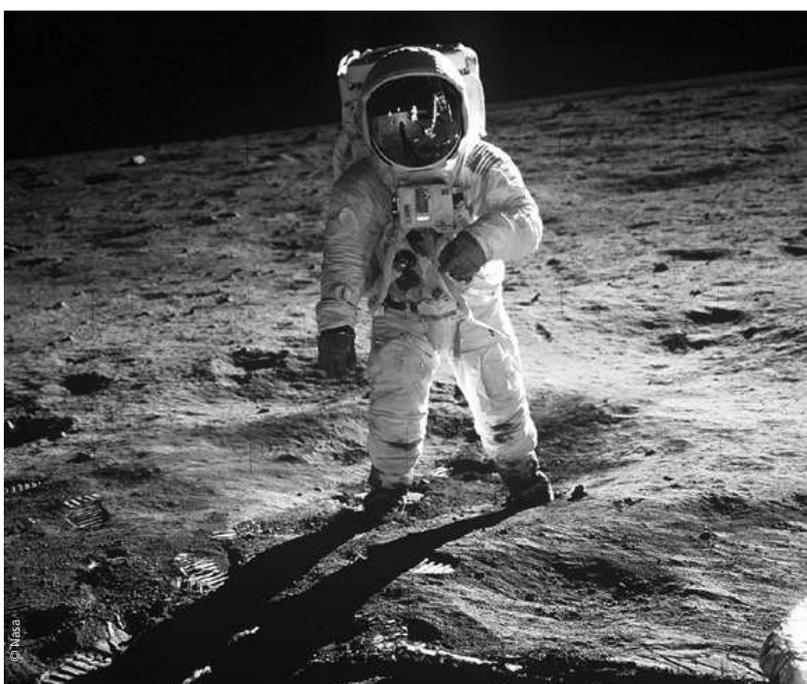
François Raulin

ÉMERGENCE ET DÉVELOPPEMENT D'UNE NOUVELLE SCIENCE INTERDISCIPLINAIRE

Dès qu'il a commencé à regarder et à observer le ciel, l'Homme a imaginé qu'il y avait dans ces lointains ailleurs d'autres mondes habités par d'autres vies, bien que souvent à l'image de la vie terrestre. François Raulin revient sur cette quête des mondes extraterrestres.

The Exobiology branch conducts research in Exobiology seeking to increase our knowledge of the origin, evolution, and distribution of life in the universe. To what extent did chemical evolution occur in the primitive bodies of the solar system? How did life originate on the Earth, and what role did minerals play? What evidence exists between biological and environmental evolution?

Ancien directeur du Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques du CNRS, François Raulin y est responsable du groupe de physico-chimie organique spatiale. Il est aussi l'ancien directeur du GDR Exobio, une fédération de laboratoires du CNRS travaillant dans le domaine de l'exobiologie. D'autre part, il collabore sur les futures missions d'exploration de la planète Mars, et du système solaire externe (Europe, Titan et Encelade).



L'astronaute Edwin Aldrin marche à la surface de la Lune, lors de la mission Apollo 11. Le premier pas de l'homme sur la Lune et le retour des échantillons lunaires ont été le point de départ de l'exobiologie et des études systématiques dans ce domaine.

Une question de tous les temps

La question de l'existence et de la nature d'une éventuelle vie extraterrestre a été réservée pendant très longtemps à la littérature, qu'il s'agisse d'écrits philosophiques ou d'ouvrages de science fiction... L'idée est en effet présente dans de très nombreux écrits. En particulier les réflexions d'Anaximandre de Milet (610 à 546 av. J. C.), d'Empédocle (490 à 435 av. J. C.), de Démocrite (460 à 435 av. J. C.) et d'Aristote (384 à 322 av. J. C.) sur l'origine de la vie suggèrent fortement l'idée que ce phénomène est universel et que la vie est aussi présente ailleurs. De Giordano Bruno, qui périt sur le bûcher de l'église catholique et romaine en 1600, et son *Infini, l'univers et les mondes*, à Bernard de Fontenelle (1657-1757), et ses *Entretiens sur la pluralité des mondes*, ou plus récemment Camille Flammarion (1842-1925) et ses nombreux ouvrages de vulgarisation, dont *La pluralité des mondes habités*, la notion d'une vie ailleurs, et même d'une vie intelligente, est largement développée.

Toutefois, malgré quelques actions ponctuelles, comme la recherche de micro-organismes dans des météorites par Louis Pasteur, la science

de la vie extraterrestre a tardé à apparaître. Les observations de la planète Mars pendant la deuxième moitié du XIX^e siècle ont généré le long épisode des canaux martiens, et laissé croire, jusqu'au début du XX^e, à la présence de canaux artificiels sur Mars (contribuant sans doute au mythe des petits hommes verts). Les observations ultérieures faites avec des télescopes plus performants ont conduit à abandonner totalement cette hypothèse. On a toutefois continué de penser que Mars pouvait être habitée. Jusqu'aux années 1960, les changements de couleur de la surface martienne observés par les astronomes étaient même interprétés comme la présence de végétation.

En parallèle, le développement de la radioastronomie a ouvert de nouvelles possibilités pour rechercher une vie ailleurs, et, plus précisément, une vie intelligente : il « suffisait » d'écouter le cosmos et de détecter d'éventuels messages dans le domaine des ondes radio. Cette approche est appelée généralement aujourd'hui « SETI » de l'acronyme *Search for ExtraTerrestrial Intelligence* (recherche d'intelligence extraterrestre). La première expérience SETI a été effectuée en 1960 par le jeune radioastronome Franck Drake. Des centaines d'écoutes de ce type ont été menées depuis, avec des outils de détection et de traitement de données plus adaptés, y compris en France au radiotélescope de Nançay sous l'impulsion de Jean Heidmann et François Biraud. Cependant, la systématique dans le domaine de la recherche de vie extraterrestre est issue d'une tout autre approche : l'exploration spatiale.

La naissance de l'exobiologie

C'est pendant le développement du programme Apollo de la NASA que le mot « exobiologie » a été inventé. La NASA se préparait à envoyer des cosmonautes sur la Lune. Ils allaient y collecter des échantillons et les rapporter sur Terre. N'y avait-il pas un risque que ces échantillons contiennent des micro-organismes lunaires, susceptibles d'interagir avec la vie terrestre et risquant de la mettre en péril ? La NASA a alors constitué un groupe de travail pour étudier cette question. Un des membres de ce groupe, Joshua Lederberg¹, lauréat du prix Nobel de médecine en 1958, intro-

duisit le mot « exobiologie » pour désigner la science qui s'intéresse à la vie extraterrestre.

Nous connaissons aujourd'hui les conditions hostiles qui règnent à la surface de la Lune, irradiée par les rayonnements très énergétiques émis par le soleil (UV et vent solaire) et les rayons cosmiques, incompatibles avec l'apparition et le développement de systèmes vivants. Aussi, l'hypothèse de la présence possible sur notre satellite naturel de micro-organismes vivants, y compris ceux que nous aurions pu y apporter lors des missions d'exploration, est-elle abandonnée.

En revanche, l'exobiologie était née et ce nouveau domaine scientifique allait connaître une expansion très rapide. Six ans seulement après le premier pas de l'Homme sur la Lune, la NASA lançait la mission *Viking* vers Mars. Cha-

cune des deux sondes *Viking* qui se posèrent à la surface de la planète rouge l'été 1976 incluait les premières expériences exobiologiques de l'exploration spatiale :

trois instruments spécifiquement destinés à mettre en évidence une activité biologique dans le sol martien.

Le champ s'élargit

Depuis, le domaine de l'exobiologie a largement évolué, sous l'impulsion de microbiologistes mais aussi de chimistes et d'astrophysiciens, comme Carl Sagan. Ce scientifique qui a travaillé avec Lederberg, a su marier de façon efficace et fructueuse les sciences physiques et sciences de l'Univers avec les sciences de la vie. Premier exobiologiste ayant une réelle approche pluri- et inter-disciplinaire, il a su aussi promouvoir ce nouveau domaine par une activité de vulgarisation exceptionnelle. Aujourd'hui, l'exobiologie a largement repoussé ses frontières. Ce domaine englobe à présent l'étude de l'origine, de la distribution et de l'évolution de la vie dans l'Univers, ainsi que des processus et structures qui sont liés à la vie. L'exobiologie est donc devenue en fait aujourd'hui l'étude de la vie dans l'Univers.

En parallèle, la communauté des astronomes et principalement des radioastronomes s'intéressant aux expériences « SETI », a introduit au début des années 1980 l'appellation « Bioastronomie ». Elle a aussi convaincu l'Union astronomique inter-

¹ Biologiste américain, professeur et directeur des laboratoires de médecine moléculaire à l'université Stanford, Joshua Lederberg est le fondateur de la génétique moléculaire.

UNE INTELLIGENCE
EXTRATERRESTRE



Alexandr Ivanovitch Oparin (à droite), initiateur du concept d'évolution chimique, et Stanley Miller (à gauche), le père de la chimie prébiotique, lors du 4^e Congrès international sur les origines de la vie (Barcelone, 1973).

nationale de créer une commission sur cette thématique. Cette communauté organise depuis une conférence internationale tous les trois ans.

Plus récemment, au milieu des années 1990, la NASA a introduit le terme « Astrobiologie » pour désigner un domaine scientifique quasi identique (à la différence indiquée par l'agence américaine, que l'astrobiologie inclut le futur de la vie). Coïncidence ou stratégie, la NASA a lancé cette appellation alors qu'elle préparait son ambitieux programme d'exploration de Mars et avait besoin d'un soutien important du Congrès. Ce programme a pu être développé avec succès commençant avec les lancements des missions *Mars Global Surveyor* et *Mars PathFinder* en 1996. Au même moment, la NASA créait son programme d'instituts virtuels d'astrobiologie (*NASA Astrobiology Institute* ou *NAI*) qui réunit aujourd'hui seize centres aux États-Unis, avec de larges collaborations internationales.

En fait, ces trois appellations (sans compter une quatrième, « Cosmobiologie », peu utilisée) sont quasi-synonymes et, *grosso modo*, désignent toutes l'étude de la vie dans l'Univers. Il s'agit d'un domaine faisant appel à de nombreuses dis-

ciplines, allant des sciences souvent considérées comme « dures », telles que la physique (et l'astrophysique), en passant par les sciences « moins dures » de la chimie, la géologie, la biologie et les sciences de la vie en générale, et allant même jusqu'aux sciences de l'homme et de la société.

Les approches sont nombreuses. Elles comprennent bien sûr la recherche de vie ou de signatures biologiques, présentes ou passées, ailleurs que sur Terre. Cette recherche peut se faire dans le système solaire par télédétection ou, depuis peu, grâce au développement des technologies spatiales, par mesures *in situ*. Elle peut aussi se faire hors du système solaire, par l'approche SETI et devrait pouvoir se faire dans un futur proche, par la détermination de la composition des atmosphères des planètes extrasolaires ou « exoplanètes », que nous savons détecter depuis plus de dix ans (près de 300 répertoriées à ce jour). Mais l'exobiologie (et ses synonymes) inclut aussi l'étude du seul exemple de vie dont nous disposons pour l'instant : la vie terrestre comme référence. Plus précisément, l'étude de son ou ses origine(s), de sa diversité, de son évolution et de la vie terrestre dans des conditions extrêmes. La vie sur Terre est l'aboutissement d'une évolution chimique de composés organiques (~carbonés) en présence d'eau liquide, et sous flux d'énergie. Aussi l'exobiologie comprend-elle également l'étude de la chimie organique dans des environnements extraterrestres.

La situation internationale

La communauté exobiologique existait en fait avant l'invention de ce mot. On peut considérer que c'est au milieu des années 1950 qu'elle a commencé à se structurer, et ce autour d'une nouvelle thématique : la chimie « prébiotique ». Stanley Miller venait de publier en 1953 dans la revue *Science* les résultats de son expérience, à présent célèbre. Il démontrait que l'évolution chimique de composés très simples dans des conditions simulant l'environnement primitif terrestre, peut conduire à des composés d'intérêt biologique, première étape vers la vie. Il montrait aussi l'importance de la chimie de composés organiques simples dans l'eau liquide. De nombreuses équipes de chimistes et physico-chimistes dans le monde se sont alors lancées dans des études de cette chimie particulière que l'on appelle à présent « prébiotique ».

Dès les années 1970, une société savante internationale est créée qui couvre tous les domaines liés à l'origine de la vie : l'ISSOL (*International Society for the Study of the Origin of Life*). Une conférence internationale sur l'origine de la vie (*International Conference on the Origin of Life*) est organisée tous les trois ans. La quinzième a eu lieu en août 2008 à Florence. Du fait des très forts recouvrements entre les questions traitées lors de cette conférence et celle de bioastronomie, il est prévu qu'en 2011 les deux soient combinées. La communauté exobiologique française a proposé qu'elle ait lieu dans notre pays (Arcachon, Biarritz ou Montpellier).

Le domaine de l'exo/astrobiologie est aussi présent depuis la fin des années 1960 dans les commissions scientifiques du COSPAR (*Committee on Space Research*), organisme international qui s'occupe de la recherche spatiale sous tous ses aspects. L'assemblée générale du COSPAR qui a lieu régulièrement depuis 1960 (tous les ans, puis tous les deux ans depuis 1980) réunit plusieurs milliers de scientifiques, dont de nombreux exo/astrobiologistes. Sa commission des sciences de la vie comprend d'ailleurs depuis 2004 une sous-commission d'astrobiologie.

Le domaine a en fait connu un accroissement très important depuis les années 1980, et les communautés exo/astrobiologiques se sont structurées dans de nombreux pays dans les années 1990. Aux États-Unis, cette structuration s'est effectuée, comme indiqué précédemment, avec la création du NAI en 1998. En France, au même moment le GDR *Exobio* est créé par le CNRS et va jouer ce rôle. De nombreux autres pays suivent ces exemples : Centre d'astrobiologie en Espagne (CAB), en Grande-Bretagne, Suède, Russie, Australie, Finlande, Japon et Mexique, entre autre. Malgré l'établissement de ces structures nationales, l'Europe n'est pas en reste. La société savante européenne d'astrobiologie (*European Astrobiological Network Association*, EANA) voit le jour en 2001, sous l'impulsion de nombreux exo/astrobiologistes responsables ou représentants des structures nationales citées ci-dessus, et avec le soutien de l'Agence spatiale européenne (ESA). L'un des principaux acteurs dans la création de l'EANA est un français, André Brack, qui en assurera la présidence jusqu'en 2008.

Parallèlement, le développement des activités spatiales en Europe et des missions d'exploration

planétaire est en train d'ouvrir l'approche « recherche *in situ* » de l'exo/astrobiologie à une communauté scientifique de plus en plus large. L'appel à proposition de mission « Cosmic Vision, 2015-2025 » fait par l'ESA en 2006 a donné lieu à de nombreuses réponses de la communauté internationale, dont une quarantaine intéressant l'exo/astrobiologie.

L'exobiologie en France

Dès les années 1970, plusieurs équipes travaillent en France sur l'origine de la vie (parfois appelée alors « Biogenèse »). Chimistes, biochimistes, biophysiciens osent se fourvoyer dans un domaine alors très éloigné des thèmes prioritaires soutenus par les grands organismes de recherche, dont le CNRS. Des expériences et/ou des concepts sont développés par les équipes de René Buvet, de Charles Sadron, d'Orcel, de Pulmann. De très jeu-



L'étude de la vie terrestre, principalement, de ses origines et de la vie dans les conditions extrêmes, est une des approches essentielles de l'exobiologie. Les sources hydrothermales sous-marines sont une des niches terrestres qui intéressent de près les exobiologistes.

DOSSIER

L'astrophysique, une science en expansion

De l'exobiologie à l'astrobiologie



Exobio'99, première École thématique du CNRS en exobiologie, a réuni près de 100 participants à Propriano. Depuis, elle est devenue l'École de Propriano qui a lieu tous les deux ans.

**UNE ÉCOLE
FRANÇAISE
D'EXOBILOGIE**

nes (à l'époque) chercheurs sont attirés par ce domaine et rejoignent ces équipes. Certains parmi eux iront aussi effectuer des séjours de longue durée aux États-Unis : au début des années 1970, André Brack chez Leslie Orgel (chimie prébiotique des acides nucléiques) ; François Raulin chez Carl Sagan (synthèse prébiotique d'acides aminés), puis en 1979 chez Cyril Ponnaperuma (chimie organique extraterrestre en relation avec la mission *Voyager*). C'est à cette époque que la recherche spatiale a commencé à prendre de l'importance dans la communauté exobiologique, avec le développement d'expériences d'irradiation en orbite basse, et surtout de missions d'exploration planétaire.

La thématique exobiologie est reconnue par l'agence spatiale française (Centre national d'études spatiales, Cnes) dès la fin des années 1970, du fait des expériences en orbite terrestre. Elle fait alors partie du domaine des sciences de la vie et est scientifiquement coordonnée par un biologiste : Hubert Planel. Dix ans plus tard, avec la perspective des missions d'exploration planétaire,

l'exobiologie passe dans le domaine de l'exploration de l'Univers au Cnes.

La communauté française est alors prête à se structurer. Coordonné par plusieurs d'entre eux, dont F. Raulin et A. Brack, et avec le soutien du CNRS et du Cnes, le premier colloque national d'exobiologie a lieu à Roscoff en 1997. Une demande de création de structure nationale d'exobiologie est envoyée au CNRS l'année suivante. Il en résulte en 1999 la création par le CNRS d'un Groupement de recherche en exobiologie (GDR *Exobio*) qui sera dirigé jusqu'en 2006 par F. Raulin, puis depuis 2007 par Frances Westall. Le GDR *Exobio* est en fait une fédération d'équipes qui a pour but de promouvoir et coordonner le développement de programmes en exo/astrobiologie en France, avec l'appui du CNRS (ex-SDU, actuellement MPPU) et du Cnes. Il concerne plusieurs dizaines de laboratoires et environ 200 chercheurs. Il lance un appel annuel à propositions, incite l'organisation de nombreux ateliers sur ses thématiques. Une école d'été d'exobiologie est organisée tous les deux ans (l'École de Propriano,

L'astrophysique, une science en expansion

De l'exobiologie à l'astrobiologie

coordonnée par Muriel Gargaud). Enfin, il organise régulièrement un colloque national d'exobiologie (le dernier, fin mai 2008).

En 2004, compte tenu de l'expansion du domaine, le Cnes décide de créer un groupe thématique d'exo/astrobiologie, analogue pour l'exobiologie de ce qu'est son groupe *Système solaire* pour l'exploration planétaire.

Enfin, le CNRS crée en janvier 2007 un nouveau Programme interdisciplinaire « Origine des planètes et de la vie ». Le PID OPV avec un budget (500 kEuros/an) d'un ordre de grandeur supérieur à celui du GDR, devrait progressivement intégrer ce dernier. Son conseil scientifique comprend d'ailleurs de nombreux membres du GDR *Exobio*, dont Marie-Christine Maurel et F. Raulin, respectivement présidente et secrétaire scientifique du PID OPV. De plus, le PID OPV est dirigé par deux astrophysiciennes, Anne-Marie Lagrange et Maryvonne Gerin. Ce programme est un exemple d'interdisciplinarité : 50 propositions ont été reçues en réponse à son dernier appel d'offre, venant d'équipes appartenant à une large variété de départements du CNRS (MPPU, SC, SDV, SHS en particulier).

Le futur ??

L'exobiologie est par essence même basée sur l'interdisciplinarité, faisant intervenir la plupart des grands champs disciplinaires classiques, des sciences dures, aux sciences molles... La chimie est quasiment située à la frontière entre ces deux grands domaines. Or, les chimistes ont été parmi

les premiers exobiologistes en France, c'est sans doute une conséquence de cette place particulière.

Mais il faut aussi noter le rôle clé joué par l'astrophysique et la planétologie dans le développement de l'exobiologie : la création du GDR puis celle du PID OPV en sont une illustration claire. L'interdisciplinarité c'est l'avenir de la science. L'adaptation puis l'utilisation d'outils développés par d'autres champs disciplinaires peut être une source très riche de nouvelles découvertes. Le développement des recherches dans le monde des sciences de la vie et celui des sciences de l'environnement (atmosphère, climat) l'a déjà démontré. Ce devrait être encore plus exemplaire dans le cas de l'exobiologie, qui couvre toutes les sciences, des plus dures aux plus douces...

Or, les grands organismes qui gèrent la recherche publique en France sont encore bien mal adaptés à ce besoin d'interdisciplinarité. Le découpage en départements et/ou en sections du CNRS rend parfois bien difficile les actions transdisciplinaires, telles que celles s'appuyant sur la chimie ou les sciences de la vie et la planétologie, dans le cadre de programmes tels que le PID OPV. Avec l'établissement de commissions interdisciplinaires, le CNRS a, en partie, résolu les problèmes. En revanche, ces problèmes persistent de façon très pénalisante pour les domaines tels que l'exobiologie en ce qui concerne l'enseignement supérieur, avec le découpage en sections du CNU dont les cloisonnements restent difficilement compatibles avec une réelle interdisciplinarité.