

CAHIERS FRANÇOIS VIÈTE

Série I – N°4

2002

Exobiologie *Aspects historiques et épistémologiques*

FLORENCE RAULIN CERCEAU & STÉPHANE TIRARD - *Présentation*
JEAN GAYON - *Préface*
MICHEL MORANGE - *Qu'est-ce que la vie ?*
MARIE-CHRISTINE MAUREL - *Notion d'Origines*
STÉPHANE TIRARD - *Les origines de la vie sur la Terre : un problème historique*
FLORENCE RAULIN-CERCEAU - *Histoire des concepts de la vie extraterrestre*
ANDRÉ BRACK - *Vers une vie plurielle*
FRANÇOIS RAULIN - *L'essor de l'exobiologie planétaire dans le système solaire*
JEAN SCHNEIDER - *L'exobiologie, l'imaginaire et le symbolique*

Centre François Viète
Épistémologie, histoire des sciences et des techniques
Université de Nantes

SOMMAIRE

- FLORENCE RAULIN CERCEAUET STÉPHANE TIRARD..... 3
Présentation
- JEAN GAYON 5
Préface
- MICHEL MORANGE 9
Qu'est-ce que la vie ?
- MARIE-CHRISTINE MAUREL..... 23
Notion d'Origines
- STÉPHANE TIRARD 35
Les origines de la vie sur la Terre : un problème historique
- FLORENCE RAULIN-CERCEAU 49
Histoire des concepts de la vie extraterrestre
- ANDRÉ BRACK..... 61
Vers une vie plurielle
- FRANÇOIS RAULIN..... 81
L'essor de l'exobiologie planétaire dans le système solaire
- JEAN SCHNEIDER 93
L'exobiologie, l'imaginaire et le symbolique

L'ESSOR DE L'EXOBILOGIE PLANÉTAIRE DANS LE SYSTÈME SOLAIRE

François RAULIN*

Résumé

Le développement de l'exploration spatiale a ouvert la voie à de nouvelles perspectives de recherches dans le domaine des origines de la vie (sur Terre ou ailleurs). L'observation détaillée *in situ* des autres corps du système solaire permet en effet de comparer des données chimiques et environnementales, et d'étudier des composés organiques d'intérêt prébiotique sur d'autres corps que la Terre (Titan, les comètes). Elle permet aussi de susciter une confrontation des différents scénarios plausibles menant, d'une manière générale à l'apparition du vivant. Certains corps planétaires (Mars, Europe) peuvent en outre être de bons candidats pour abriter (ou avoir abrité) la vie. L'ensemble de ces investigations laissent entrevoir dans les années à venir, grâce à des expériences embarquées de plus en plus spécifiques, la découverte de nouveaux paramètres cernant de mieux en mieux la question de la vie dans l'univers, tout en posant de nouvelles questions d'éthique.

Il est souvent indispensable de prendre du recul sur une discipline que l'on côtoie tous les jours et d'avoir un regard nouveau et original sur

* Ingénieur ESPCI.

Professeur à l'Université Paris 12 - Val de Marne.

Directeur du LISA, Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques des Universités Paris 7 et Paris 12 (UMR 7583 du CNRS,) et du Groupement de Recherche en exobiologie (GDR Exobio 1877) du CNRS.

Son principal champ de recherche est l'étude de la chimie organique dans des environnements planétaires. François Raulin est InterDisciplinary Scientist pour la chimie et l'exobiologie de la mission Cassini-Huygens. Il est "Co-Investigator" de plusieurs expériences scientifiques de cette mission et de la mission Rosetta d'exploration cométaire. Il est Vice-Président de l'ISSOL (Société Internationale de l'Étude de l'Origine de la Vie) et Président de la commission des Sciences de la Vie du COSPAR (Comité Mondial de la Recherche Spatiale).

les recherches que l'on mène. Les exobiologistes devraient plus souvent prendre le temps d'approfondir leur réflexion sur ce champ de recherche, qui par lui-même est riche en aspects épistémologiques.

Le mot « Exobiologie » est arrivé au moment même (1961) où l'on commençait à se pencher de manière rationnelle sur le problème de la vie extraterrestre à l'occasion des missions spatiales engagées vers la Lune. L'objectif était de résoudre le problème des risques d'une éventuelle contamination (dans le sens Terre/Lune, comme en sens inverse) : quelle serait la nature d'éventuels micro-organismes extraterrestres et quelle serait leur interaction avec des organismes terrestres ?

Étymologiquement parlant, l'Exobiologie correspond à l'étude de la vie en dehors de la Terre. Progressivement, et nécessairement, ce champ de recherches s'est beaucoup élargi depuis sa naissance officielle dans les années 1960. L'étude de la vie dans l'univers englobe aujourd'hui l'étude des origines, de l'évolution et de la distribution de la vie dans l'univers, ainsi que celle des processus et des structures prébiotiques et biologiques.

Le terme « Bioastronomie » a été introduit par les astrophysiciens dans les années 1980, conjointement à la création de la Commission 51 par l'I.A.U., laquelle ajoutait en particulier l'approche SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence). À ce titre, je tiens à rendre hommage à notre collègue astronome Jean Heidmann, disparu en juillet 2000, qui était un des piliers du développement de la recherche SETI, plus particulièrement en France.

Beaucoup plus récemment, on parle d'« Astrobiologie », terme inventé par la NASA il y a environ 6 ans, avec peut-être pour intention de pouvoir développer de nouvelles ressources financières et de créer le NAI (NASA Astrobiology Institute - fédération de laboratoires ou Institut « sans murs »).

Prenons le cas de l'évolution de ce domaine en France dont l'analyse est intéressante sur le plan épistémologique.

Le domaine de l'Exobiologie en France a d'emblée intégré les quelques laboratoires qui travaillaient sur l'origine de la vie, en se heurtant au douloureux problème de la reconnaissance par les tutelles et les grands organismes. Ce problème a pu être (en partie) résolu grâce aux applications dans le domaine spatial. Ainsi, les laboratoires qui travaillaient sur l'origine de la vie se sont impliqués dans des programmes de recherches concernant les environnements extraterrestres (comme les environnements planétaires). Cela a conduit à un essor de la discipline à un niveau national important. En voici quelques étapes « clés » :

- la reconnaissance de l'Exobiologie par l'Agence Spatiale française (CNES, Centre National d'Études Spatiales) en 1994, dans son programme « Connaissance de l'univers » ;

- la création, en 1999, du Groupe de Recherches « EXOBIO » du CNRS (GDR CNRS 1877), fédération d'un grand nombre de laboratoires, communauté de plus de 100 chercheurs, de disciplines extrêmement variées, ce qui illustre bien la pluridisciplinarité de ce grand champ de recherches.

L'Exobiologie planétaire dans le système solaire

De nombreux objets du système solaire sont concernés par l'Exobiologie. Je me limiterai aux objets planétaires qui nous apparaissent aujourd'hui les plus importants et les plus prometteurs pour ce domaine. On peut les classer en deux grandes catégories :

- des objets sur lesquels une chimie organique, peut-être prébiotique, se déroule actuellement, voire une chimie qui a éventuellement même participé à la chimie prébiotique terrestre. L'étude de tels objets permet de comprendre les étapes de complexité de la chimie du carbone, en relation avec l'apparition de la vie (ces objets sont : les comètes, Titan).

- des objets où la vie a pu apparaître (et existe peut-être même encore) et sur lesquels on peut envisager d'aller chercher des traces de vie (il s'agit en l'occurrence de Mars et Europe).

Les comètes

Les comètes sont des objets étonnants, pleins de contradiction, pouvant faire partie à la fois des corps les plus petits mais aussi les plus gigantesques du système solaire. En effet, lorsqu'elles sont très éloignées du soleil, les comètes ne sont quasiment constituées que de leur noyau. Celui-ci, avec au plus quelques dizaines de kilomètres de dimensions moyennes, voire quelques centaines de mètres, est un petit corps. Mais il peut être très actif : lorsqu'il se rapproche du Soleil, il se met à éjecter des poussières et des gaz, qui forment la coma (ou chevelure) et la queue, d'une dimension considérable. L'activité du noyau au voisinage du Soleil fait des comètes des objets pouvant atteindre plusieurs centaines de milliers de kilomètres.

On a observé un grand nombre de molécules organiques dans la coma, molécules contenant jusqu'à une dizaine d'atomes, dont certaines sont impliquées dans la chimie prébiotique terrestre (en laboratoire), comme

l'acide cyanhydrique (HCN), le cyanoacétylène (HC₃N), le formaldéhyde (H₂CO). Du noyau cométaire en revanche, nous n'avons que très peu de données. Mais tous les modèles, grâce à l'analyse des poussières de la coma, laissent à penser que le noyau est très riche en composés organiques.

Il nous faut donc aller voir de plus près la chimie du noyau cométaire pour tenter de cerner les éventuelles implications des comètes dans l'origine de la vie sur Terre. Une des approches *a priori* les plus fructueuses doit consister à déposer sur le noyau cométaire un module de surface capable d'échantillonner le noyau et d'en rapporter sur Terre des échantillons, bien préservés. Une autre approche, technologiquement plus accessible, bien que présentant aussi de nombreuses difficultés techniques, consiste à « bourrer » le module d'instruments de mesures robotisés capables d'effectuer une exploration systématique et des mesures *in situ* détaillées de cet environnement. En particulier, ils pourraient réaliser une analyse chimique, élémentaire, moléculaire, chirale et isotopique de sa surface et de sa sous-surface.

C'est précisément l'un des objectifs principaux de la mission spatiale Rosetta. Cette mission extrêmement ambitieuse, développée par l'Agence Spatiale Européenne (ESA), est en préparation pour envoyer un vaisseau spatial sur la comète Wirtanen. Le vaisseau va voyager de pair avec la comète, et un à deux ans après, il larguera un atterrisseur qui fera des prélèvements sur le noyau, recherchera la composition moléculaire, y compris la composition chirale, pour détecter un éventuel excès énantiomérique. Le lancement est prévu pour 2003 et la sonde spatiale arrivera au voisinage de la comète en 2011. L'atterrisseur se posera en 2012-2013 sur le noyau cométaire.

Cette information sur les dates est importante et conduit à soulever le problème du temps de préparation des missions. Les scientifiques travaillent sur ce genre de mission pendant 10 à 20 ans : il faut la concevoir, préparer les instruments, avoir la patience d'attendre que la mission atteigne son objectif final, puis qu'elle explore la cible, effectue les analyses des échantillons et envoie les données jusqu'à la Terre.

Ce ne sont probablement pas, pour plusieurs d'entre eux, les scientifiques qui ont conçu la mission qui en analyseront les données. Cela induit un changement de comportement dans la communauté scientifique : beaucoup d'entre nous qui travaillons sur ce type de mission sommes parfaitement conscients que nous ne dépouillerons que peu, voire pas du tout, les données. Nous sommes parfaitement conscients de travailler pour les générations futures, en particulier celles de chercheurs. Nous avons aussi pleinement à l'esprit les contraintes, induites par cette situation, et aussi les

obligations et devoirs qui nous reviennent : assurer le transfert des compétences, mais aussi et surtout du savoir relatif aux systèmes d'analyse que nous avons conçus et dont une parfaite connaissance est indispensable pour l'interprétation des données des instruments de la mission et l'optimisation de son retour scientifique.

Titan

Titan est le plus gros satellite de Saturne, second par la taille (après Ganymède) de tous les satellites du système solaire. Il est surtout le seul satellite à posséder une atmosphère dense, telle que la pression de surface est de 1,5 bar. La composition moléculaire de cette atmosphère est très intéressante d'un point de vue prébiotique. Elle est composée majoritairement d'azote (N_2) avec quelques pourcents de méthane (CH_4). Cette découverte, effectuée grâce au survol de Saturne et de Titan par les sondes Voyager, a maintenant plus de 20 ans.

A la vue de cette composition atmosphérique, les scientifiques se sont tout de suite attendus à trouver de nombreux composés organiques dans l'atmosphère, du fait de la présence de méthane en quantité notable. Effectivement, l'étude des données de Voyager a permis de mettre en évidence de nombreux hydrocarbures, des composés organo-azotés, essentiellement des nitriles (R-CN), dont l'acide cyanhydrique et le cyanoacétylène.

A la suite de ces découvertes, Titan est devenu un véritable « laboratoire de chimie prébiotique à l'échelle planétaire », avec cependant quelques limitations : de très basses températures (loin du Soleil, la température de surface n'est que d'environ 100K, soit de l'ordre de $-170^\circ C$), pas d'eau liquide à la surface, mais de possibles masses liquides constituées d'éthane (C_2H_6) et de méthane, dont la présence est déduite de spéculations et extrapolations de données issues de l'observation.

Du fait de la présence d'une chimie organique en phase gazeuse et de la présence d'aérosols (probablement composés majoritairement de matériaux organiques) en quantité importante dans l'atmosphère, il existerait des couplages entre la phase gazeuse atmosphérique et la surface ; ces couplages physique et chimique sont plus importants encore si la surface est, partiellement au moins, recouverte de liquide.

Ainsi Titan est actuellement considéré par beaucoup de scientifiques comme une Terre primitive, sans eau liquide toutefois et très froide, qui aurait été mise au congélateur pendant plusieurs milliards d'années, mais où de nombreux processus de chimie organique d'intérêt prébiotique se déroulent encore actuellement. Son étude devrait donc nous permettre d'accéder à l'observation directe de ces processus, dans un environnement

planétaire réel. Une telle observation serait aujourd'hui impossible sur Terre, les conditions actuelles y étant très différentes de ce qu'elles étaient il y a quatre milliards d'années.

Cependant de nombreuses zones d'incertitude et même d'ignorance demeurent en ce qui concerne Titan. Quelle est la nature de sa surface ? Comprend-elle effectivement des masses liquides de méthane et d'éthane ? Quelle est l'origine du méthane atmosphérique ? Quelle est la composition chimique (moléculaire et élémentaire) des aérosols de son atmosphère ? Jusqu'à quel degré de complexité a évolué cette chimie organique exotique ? Cette chimie présente-t-elle une homochiralité ?

Beaucoup de ces questions devraient trouver des éléments de réponse dans les données qui vont nous être fournies par la mission spatiale Cassini-Huygens.

La mission Cassini-Huygens préparée conjointement par la NASA et l'ESA et lancée en octobre 1997, est une autre mission très ambitieuse. Elle est en outre un exemple de très large collaboration internationale. Le vaisseau Cassini atteindra le système de Saturne en 2004, avec, à son bord, douze instruments scientifiques, incluant des instruments de mesure optiques par télédétection (imagerie dans le domaine visible, spectroscopie IR, UV,...), des instruments de mesures de champs et de particules, des instruments de mesures dans le domaine des micro-ondes (incluant un radar). Le vaisseau a aussi à son bord la sonde Huygens, nommée ainsi en hommage au scientifique qui a découvert Titan en 1655. Cette sonde abrite six instruments scientifiques qui permettront l'exploration détaillée de l'environnement de Titan (analyse moléculaire de la phase gazeuse et des aérosols, analyse des nuages, des flux lumineux, mesure de température, pression, champs électriques, mesure des vents et détermination des caractéristiques de la surface). Après son arrivée dans le système de Saturne en juillet 2004, le vaisseau Cassini deviendra un satellite artificiel de la planète géante. Il larguera la sonde Huygens qui pénétrera dans l'atmosphère de Titan en janvier 2005. Pendant les deux heures trente de sa descente, la sonde effectuera des analyses atmosphériques jusqu'à la surface. Après avoir atteint cette dernière, qu'elle soit solide ou liquide, la sonde Huygens devrait résister à l'impact et continuer ses mesures pendant plusieurs minutes à la surface.

Cette mission, dont la préparation a commencé au début des années 1980, a été initiée par l'astronome Daniel Gautier, de l'observatoire de Paris-Meudon. Il aura donc fallu plus de quinze ans pour voir l'aboutissement de sa préparation et son lancement. Il aura fallu attendre ensuite sept ans pour que le vaisseau Cassini atteigne Saturne, à partir

d'une trajectoire complexe, utilisant l'assistance gravitationnelle des planètes (Vénus, deux fois, puis la Terre, et enfin Jupiter en décembre 2000), la fusée utilisée pour le lancement ne permettant pas un tir direct, du fait de la charge très importante du vaisseau Cassini. Un fois le vaisseau en orbite autour de Saturne, la mission officielle durera au moins quatre ans ; quatre années bien remplies par les observations de Saturne, de ses anneaux et de ses satellites, et plus particulièrement de Titan.

Le passage des deux sondes Voyager au voisinage de Titan en 1980 et 1981 avait duré quelques semaines. Les données qui ont été transmises par Voyager ne sont pas encore toutes dépouillées, plus de vingt ans plus tard. On s'attend à ce que le retour scientifique de la mission Cassini soit un ordre de grandeur plus important que celui de Voyager : un facteur supérieur à dix, justifié par la durée de la mission, mais aussi par les performances des instruments qui sont à son bord. On peut donner un exemple illustratif de ce saut quantitatif dans les performances instrumentales : le spectromètre infrarouge IRIS de Voyager avait une résolution spectrale de $4,3 \text{ cm}^{-1}$ et couvrait un domaine allant d'environ 7 à 50 microns ; le « petit-fils » d'IRIS qui est embarqué sur Cassini, CIRS, a, quant à lui, une résolution de $0,5 \text{ cm}^{-1}$, son domaine spectral s'étend de 7 à 1000 microns, et sa sensibilité est au moins dix fois supérieure à celle d'IRIS ! On peut donc s'attendre à ce que les résultats de cette mission mettent plus d'un siècle pour être exploités ! La remarque précédente sur les générations futures de chercheurs est ici aussi parfaitement adaptée. Elle met également en évidence l'un des problèmes majeurs de la recherche scientifique dans le domaine spatial : la nécessité de prévoir des moyens au sol, en particulier en terme de ressources humaines, en adéquation avec les quantités gigantesques de données qui peuvent être obtenues par des missions ambitieuses, comme le sont les missions d'exploration planétaire.

Europe

Ce satellite de Jupiter, l'un des quatre grands satellites dits « galiléens », excite beaucoup la curiosité des exobiologistes. Les modèles de structure interne prévoient une croûte de glace d'eau et de sels de quelques kilomètres d'épaisseur, couvrant un océan d'eau salée d'une ou même plusieurs dizaines de kilomètres d'épaisseur. Si cet océan abrite des sources hydrothermales analogues à celles que l'on connaît sur Terre, pourquoi ne pas imaginer qu'il y ait des phénomènes prébiotiques, comme il y a eu peut-être sur Terre il y a 4 milliards d'années, entre le manteau et cet océan, conduisant à la vie ? Alors, pourquoi ne pas concevoir une mission dont un des buts serait de percer la glace et d'explorer l'océan hypothétique

d'Europe ? Cela permettrait de mettre en évidence les non moins hypothétiques événements marins et les microorganismes susceptibles d'y vivre. Cette idée de mission spatiale fait déjà partie des cartons « projets futurs » de la NASA et plus précisément de NASA-JPL (Jet Propulsion Laboratory). Mais, basée sur beaucoup de spéculation, elle ne verra sans doute pas le jour avant plusieurs décennies. La notion de choix et de priorités doit aussi faire partie des paramètres pris en compte par les organismes « bailleurs de fonds », et par les scientifiques, surtout lorsque les projets sont extrêmement coûteux et les ressources financières limitées. Cependant des projets de missions d'exploration de ce satellite à l'aide d'un vaisseau spatial en orbite ou même en « fly-by » (survol rapproché), financièrement et techniquement plus réalistes, et qui permettraient de découvrir d'éventuelles signatures d'une activité biologique à la surface d'Europe, sont d'ores et déjà à l'étude.

Mars

La « planète rouge » a fait de nombreuses fois appel à notre imagination et nous a réservé bien souvent des surprises. Étudiée depuis plusieurs siècles avec des moyens observationnels de plus en plus puissants, scrutée et sondée de loin et, depuis peu, de près, avec des yeux et des instruments pas toujours parfaitement objectifs, la planète Mars est certainement, du fait aussi de sa proximité, non seulement l'objet d'étude de prédilection des exobiologistes, mais aussi une source d'études très riche pour les questions d'épistémologie et d'éthique scientifique. On ne peut pas ne pas mentionner les célèbres « canali », qui ont été trop rapidement interprétés comme devant être des constructions artificielles. L'astronome américain Percival Lowell (1855-1916) a dressé de nombreuses cartographies de ces canaux martiens dont il était sûr de l'origine artificielle. Mais les missions Mariner, au début des années 1960, puis Viking en 1976, ont permis de constater l'absence de tels canaux, visions erronées d'observateurs travaillant à la limite de la résolution de leurs moyens d'observation. Cet épisode – qui a duré plusieurs dizaines d'années – est un exemple frappant d'un des écueils que la science doit éviter : toute découverte, surtout lorsqu'elle a des répercussions essentielles sur la connaissance que nous pouvons avoir de l'univers et de ses mystères, a besoin de nombreuses et indépendantes confirmations avant d'être considérée comme une quasi-certitude !

L'histoire de l'exploration de Mars est une source presque inépuisable d'études dans le domaine épistémologique. C'est le cas, par exemple, de la mission Viking. L'approche suivie pour concevoir puis développer les expériences d'Exobiologie à bord des sondes Viking et la façon dont leurs

résultats ont été interprétés, est très enrichissante. Cet exemple illustre en effet parfaitement comment la position d'un scientifique peut évoluer en fonction de ce qu'il observe. Il y a d'ailleurs des leçons à tirer à aller regarder une nouvelle fois les résultats de Viking... D'autant que notre connaissance de l'environnement martien s'est largement améliorée en 25 ans, ainsi que la nature des outils physico-chimiques disponibles pour modéliser cet environnement et interpréter les résultats de Viking aujourd'hui.

La mission Viking n'a pas mis en évidence de vie, quelle qu'elle soit, dans le sol martien, mais les instruments ne sont pas allés très en profondeur (ils ont juste exploré les premiers centimètres de la surface).

Cependant, contrairement à ce qui est souvent écrit ou dit, Viking n'a pas été sur ce point un échec : cette mission a permis de voir Mars d'une autre façon. En particulier, une découverte importante a été celle de réseaux de lits de fleuves asséchés qui indiquent la présence d'eau sur la planète, à une époque reculée de son histoire. L'étude de la planète Mars illustre aussi la façon dont les scientifiques sont perçus parfois par les médias. Certains titres de revues sont parfois à ce titre très illustratifs...

Nous vivons actuellement une période où l'on redécouvre Mars. La résolution des photographies obtenues par les instruments d'imagerie présents à bord des satellites artificiels mis récemment en orbite martienne, est dix à cent fois meilleure que les images prises par les sondes Viking. L'ensemble des observations disponibles nous conforte dans l'idée qu'il y a eu de l'eau liquide sur Mars, même si certains pensent qu'il ne s'agissait peut-être pas d'eau liquide mais de gaz carbonique. Il semble toutefois très probable qu'il s'agisse bien d'eau. De plus, les données les plus récentes, en particulier ces données de l'imagerie à haute - voire très haute - résolution, semblent indiquer que ce liquide a peut-être coulé beaucoup plus récemment que ce qui avait été proposé.

On ne peut pas éviter d'évoquer l'événement suscité par la découverte venant d'une nouvelle analyse de la météorite martienne ALH 84001 et le « scoop » que certains ont dû vivre à l'été 1996 : la NASA annonçait la découverte d'une vie martienne microbienne très probable par une étude très détaillée, effectuée par plusieurs équipes, d'une météorite d'origine martienne. Source de débat non clos, cette histoire a permis de tirer des leçons, en particulier en terme de prudence. Une fois encore, il apparaît indispensable de réunir des preuves irréfutables, qui ne présentent aucune ambiguïté quant à leur interprétation, en prenant l'avis d'une large communauté scientifique compétente, avant de diffuser une nouvelle aussi importante que celle de la mise en évidence d'une vie martienne. Une bonne partie de la responsabilité de ce « scoop » est très probablement à imputer,

plus qu'aux scientifiques eux-mêmes, aux responsables de la NASA, qui ont sans doute souhaité profiter de cette occasion pour relancer le programme d'exploration de Mars. Cet exemple illustre parfaitement à quel point il est indispensable d'examiner de plus près le rôle des scientifiques dans la médiatisation des découvertes importantes et dans la définition des futurs programmes.

L'exemple martien est aussi l'illustration d'un autre problème, qui surgit avec le projet récent de retour d'échantillons. En effet les agences spatiales américaine (NASA) et française (CNES) projettent, dans le cadre de la construction commune du programme d'exploration de Mars, une mission permettant la collecte d'échantillons à la surface de Mars, leur transfert à l'aide d'un container en orbite martienne, puis le transfert de ce container sur Terre. Ce projet conduit à se poser la question fondamentale du risque de contamination : contamination de Mars par ce que nous y déposons, mais surtout, plus spécifiquement, contamination de notre propre planète par les échantillons martiens. Une telle mission peut-elle mettre en danger les habitants de la planète Terre ? Jusqu'où doit-on appliquer le « principe de précaution » ? Faut-il envisager même de détruire ces échantillons, après analyse à distance dans des laboratoires bien définis, afin d'éliminer tout risque ? Ce problème rejoint en quelque sorte celui qui s'est posé lors du retour des échantillons lunaires. Dans le cas présent, la probabilité de la présence de micro-organismes extraterrestre est loin d'être négligeable. En outre, nous n'avons aucune information sur ce que pourraient être ces éventuelles bactéries martiennes, sur leur nocivité, sur les méthodes à suivre pour s'en débarrasser. Il n'est en effet pas du tout évident que les méthodes classiques de stérilisation puissent s'appliquer à des micro-organismes martiens !

Le programme d'exploration de Mars, à l'horizon 2020-2030, inclut aussi la présence de l'homme sur Mars. Est-ce un rêve ? Est-ce que cet investissement en terme humain et financier est prioritaire ? L'exemple martien vient illustrer à nouveau la question des choix indispensables dans les projets scientifiques.

Par exemple, a-t-on le droit de classer en priorité la recherche de l'eau ou de la vie sur Mars, alors que c'est une grande banalité de dire qu'« il y a tant de choses à faire sur Terre » ?

Un autre aspect des recherches martiennes doit aussi être mentionné, qui soulève des questions sur le plan éthique. Depuis près de 20 ans, on parle régulièrement de « terra forming » au sujet de la planète Mars : il s'agit de transformer l'atmosphère de Mars pour rendre cette planète habitable aux terriens. Rendre l'atmosphère de Mars respirable dans un ou dix

millions d'années est un exercice intellectuel très intéressant. Des scientifiques de renom ont travaillé sur ce problème et ont fait des propositions. Mais a-t-on le droit de faire une telle expérience ? A-t-on le droit de modifier un environnement extraterrestre à l'échelle d'une planète, alors que nous avons tant de difficultés à contrôler – et protéger – notre propre environnement sur Terre ?

Autant de questions que l'exploration martienne a le mérite de soulever et qui doivent aujourd'hui faire partie des thèmes de réflexion de la communauté scientifique.

Conclusions

L'Exobiologie apparaît comme un domaine pluridisciplinaire et interdisciplinaire. La communauté des exobiologistes regroupe en effet, entre autres, des chimistes, biologistes, astrophysiciens, géologues et paléontologues. Mais c'est aussi un domaine très médiatique. L'homme de la rue est sensible à la question de la vie ailleurs. L'exobiologie planétaire peut être considérée comme un observatoire intéressant du savoir, de son évolution, en particulier de la connaissance que nous avons des planètes. Mais c'est aussi un observatoire du comportement scientifique et de son évolution pour différentes raisons, comme les problèmes de choix et de priorités évoqués ci-dessus... sans compter les problèmes des scientifiques qui peuvent se faire « dépasser » par leur organisme payeur ; les scientifiques ont fait une observation, ils concluent à des données préliminaires et l'organisme payeur, parce qu'il a besoin de faire un « scoop », va propulser le résultat encore plus loin. C'est, il me semble, quelque chose de nouveau, résultant du développement des moyens de communication.

D'autres questions d'éthique se posent, comme celle de la protection planétaire. Actuellement, la préparation de missions martiennes avec retour d'échantillons, même si elle ne se fait que dans les années 2010, inclut ce type de questions. S'il y a un organisme martien dans un des échantillons rapportés sur Terre, quel est le risque de contamination ? Comment faudrait-il traiter l'échantillon ? Ces interrogations suscitent de nombreux débats, de nombreuses réunions, mais nous avons encore à ce jour beaucoup de difficultés à répondre vraiment clairement à ces problèmes.

Finalement, aller voir ailleurs nous permet de voir notre propre planète avec un autre regard. Il est clair que, même si nous dépensons des centaines de millions d'euros dans des missions spatiales, nous avons un retour tout à fait phénoménal vers une meilleure connaissance de notre

planète, de la vie sur Terre, et finalement des processus qui nous permettront d'améliorer, espérons-le, la protection de notre environnement au niveau planétaire.

Université Paris 12, raulin@lisa.univ.paris12.fr

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ARNOULD Jacques, *L'Espace et l'Éthique, Vers un humanisme spatial ?* Publication du Groupe de travail « Espace Éthique et Société », CNES, 2000.
- [2] BRACK André, FITTON Brian and RAULIN François, *Exobiology in the Solar System & the Search for Life on Mars*, ESA SP-1231, 1999.
- [3] RAULIN François, *La vie dans le cosmos*, Flammarion Collection « Dominos », Paris, 1994.
- [4] RAULIN François, RAULIN CERCEAU Florence et SCHNEIDER Jean, *La Bioastronomie*, PUF, Collection « Que sais-je ? », Paris, 1997.
- [5] RUMMEL John, *Proceedings of the Cosparlau Workshop on Planetary Protection*, COSPAR pub., Avril 2002.

Groupe exobiologie du LISA : <http://www.lisa.univ-paris12.fr/GPCOS/>

GDR Exobio : <http://www.lisa.univ-paris12.fr/GDRexobio/exobio.html>