

L'exobiologie à la recherche d'une seconde genèse

Par André BRACK

Centre de biophysique moléculaire, CNRS, Orléans,
(brack@cnsr-orleans.fr)

André BRACK est exobiologiste. Directeur de recherche honoraire au CNRS, il étudie les origines de la vie, son évolution et sa distribution dans l'Univers dans l'équipe d'Exobiologie qu'il a créée au Centre de biophysique moléculaire du CNRS à Orléans. Il est membre honoraire de l'Institut d'Astrobiologie de la NASA, président d'honneur du Réseau Européen d'Astrobiologie et président d'honneur de Centre-Sciences, structure de vulgarisation des sciences de la Région Centre. Il a publié plus de 190 articles scientifiques dans des revues internationales, de nombreux articles de vulgarisation et 10 livres dont « La vie dans l'Univers. Entre mythes et réalités » aux Editions de la Martinière en mars 2009.

L'Equipe d'exobiologie étudie la chimie des acides aminés dans le cadre de l'origine de la vie (synthèse dans l'espace interstellaire, exposition dans l'espace, impacts), recherche les plus anciennes traces de vie fossilisées ainsi que la passée, voire actuelle, sur Mars (mission européenne ExoMars, météorites martiennes artificielles).

Au plan international, l'Equipe d'Exobiologie mène deux types d'expériences avec l'ESA: 1) des expériences d'exposition dans l'espace à bord de la Station Internationale; 2) elle pilote les expériences STONE de météorites artificielles sur les satellites russes FOTON. L'Equipe collabore également avec la NASA dans le cadre des missions internationales en développement (Max-C (NASA)-ExoMars (ESA) en 2018, Retour d'échantillons martiens en 2022).

Membre de la Commission SIGMA de la 3AF, André BRACK a accepté de rédiger un article, spécialement pour la Lettre 3AF, sur les connaissances actuelles des conditions de la genèse de la vie sur Terre et les projets des scientifiques, à la recherche d'une vie extraterrestre.

INTRODUCTION

Sur Terre, on admet généralement que la matière se mit à vivre dans l'eau des océans il y a environ 4 milliards d'années. Le nombre de molécules nécessaires au démarrage de la vie est inconnu et toutes les tentatives menées en laboratoire pour recréer une vie primitive sont restées vaines à ce jour. Les chances de succès du chimiste vont dépendre de la complexité du système initiateur, donc du nombre de molécules impliquées. *La découverte d'une seconde genèse de la vie, indépendante de la vie terrestre, apporterait la preuve du caractère répétitif du phénomène et donc de sa relative simplicité.* Les recherches de vie extraterrestre portent sur les corps du système solaire (Mars, Europe, Titan, Encelade) et sur les planètes extrasolaires. Au-delà de l'intérêt sociétal évident, la détection par SETI² d'un signal émis par une civilisation intelligente, ou mieux encore une visite confirmée de voyageurs extraterrestres³, répondrait de manière spectaculaire à cette attente.

DÉFINIR L'OBJET DES RECHERCHES

Mais quel type de vie cherche-t-on ? Et tout d'abord, qu'est-ce que la vie ? Seront considérés comme vivant à minima, des systèmes ouverts (recevant donc matière et énergie) capa-

bles de s'auto reproduire et d'évoluer. Sont recherchées des structures moléculaires, sortes d'automates chimiques, capables de générer des structures à leur image, produisant ainsi plus d'elles-mêmes par elles-mêmes et capables de générer des structures plus aptes à se reproduire par suite de légères erreurs de copie. *Dans une première approche, les exobiologistes utilisent la vie terrestre comme référence et limitent leurs recherches à une vie utilisant ses ingrédients de base, à savoir l'eau et les molécules « organiques », molécules construites sur un squelette d'atomes de carbone auxquels sont associés des atomes d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de soufre, de phosphore.*

L'EAU BERCEAU DE LA VIE

Pour pouvoir s'assembler, les molécules devaient posséder une certaine mobilité. L'état solide n'est pas approprié, les molécules n'y étant pas mobiles. La phase gazeuse permet une diffusion rapide des molécules mais l'inventaire des molécules volatiles est trop réduit. La phase liquide offre le meilleur environnement pour la diffusion et l'échange des molécules. *L'eau était présente à la surface de la Terre peu de temps après sa formation, il y a plus de 4 milliards d'années, comme l'attestent les rapports isotopiques de l'oxygène mesurés dans un zircon – un cristal de silicate de zirconium contenant des traces d'uranium et de thorium permettant de le dater - vieux de 4,4 milliards d'années retrouvé dans des sédiments d'Australie occidentale.*

La Terre primitive consistait en petits continents entourés de bassins d'eau peu profonde mais chaude, de l'ordre de 50 à 80°C. Elle ressemblait à l'Islande d'aujourd'hui. La Terre avait la bonne taille et était à la bonne distance du Soleil. Trop petite, comme la Lune ou Mercure, la Terre aurait été incapable de retenir une atmosphère nécessaire au maintien de l'eau liquide à sa surface. Trop grosse, comme Saturne et Jupiter, elle aurait été gazeuse et la présence de l'eau n'y aurait pas été possible. Une planète trop près de son étoile va voir sa température s'élever sous l'effet du rayonnement stellaire. L'eau s'évapore en chargeant l'atmosphère de grandes quantités de vapeur d'eau qui contribuent à l'effet de serre et au réchauffement climatique. Le phénomène rétroactif risque d'entraîner un effet de serre divergent: l'eau de surface est transférée dans la haute atmosphère où elle est décomposée en hydrogène, qui s'échappe dans l'espace, et en oxygène qui se combine aux roches de la surface planétaire. Une planète loin de son étoile ne peut abriter de l'eau liquide à sa surface que si elle arrive à maintenir un effet de serre permanent. Toutefois, l'eau risque de provoquer sa propre disparition en dissolvant les gaz à effet de serre. Dissout par la pluie, le dioxyde de carbone, par exemple, va se transformer en carbonate insoluble (calcaire) au fond des océans. L'effet de serre va s'atténuer, la température va chuter au point de transformer toute l'eau en glace dans le sol (pergélisol).

Sur Terre, la tectonique de plaques, mise en place dès les premiers 1,5 milliards d'années, décompose les carbonates enfouis dans le manteau par subduction ce qui permet le recyclage du dioxyde de carbone via les volcans. *Sa distance au Soleil est telle que la Terre n'a probablement jamais connu dans son histoire ni l'effet de serre divergent de Vénus, ni la glaciation divergente de Mars.*

2. Voir dans La Lettre 3AF N°2-2009, l'article consacré au SETI Institute et à la recherche de la vie extraterrestre.

3. Voir également, les articles consacrés à ce sujet dans La Lettre 3AF (N°5-2008, N°3-2009)

LA MATIÈRE CARBONÉE DES PREMIERS AUTOMATES : LA FILIÈRE ATMOSPHÉRIQUE

Grâce à leur tétravalence (quatre bras de fixation), les atomes de carbone permettent la construction d'échafaudages moléculaires de plus en plus complexes qui vont permettre aux systèmes d'évoluer. Les formes de carbone les plus simples susceptibles de conduire aux molécules organiques prébiotiques sont gazeuses : dioxyde de carbone (CO₂) et monoxyde de carbone (CO) pour les formes oxydées et méthane (CH₄) pour la forme réduite. L'idée que les ingrédients carbonés de la vie primitive aient pu être fabriqués dans l'atmosphère de la Terre primitive se trouva vérifiée en 1953 par l'expérience remarquable de Stanley Miller qui obtint quatre acides aminés – les constituants élémentaires des protéines – en soumettant un mélange de méthane, d'hydrogène, d'ammoniac et d'eau à des décharges électriques. Toutefois, l'atmosphère de la Terre primitive était dominée par du dioxyde de carbone accompagné, dans une moindre mesure, par de l'azote et de la vapeur d'eau. Elle était dépourvue d'oxygène mais possédait probablement du méthane dont la teneur reste difficile à apprécier et fait toujours débat. Lorsque l'on refait l'expérience de Miller en remplaçant progressivement le méthane par du dioxyde de carbone, conditions plus proches de la réalité, la formation d'acides aminés devient de plus en plus difficile.

L'atmosphère primitive ne fut probablement pas la seule source de matière organique ayant permis l'émergence de la vie terrestre.

LA FILIÈRE SOUS-MARINE

Les sources hydrothermales sous-marines constituent un milieu exceptionnel qui a peu évolué depuis quatre milliards d'années. Les éléments indispensables à la fabrication des pièces d'automates chimiques y sont présents: hydrogène, azote, monoxyde et dioxyde de carbone, hydrogène sulfuré, méthane et, bien sûr eau. Le magma fournit en continu l'énergie nécessaire sous forme de chaleur. Le milieu est protégé des effets destructeurs des rayons ultraviolets par la couche d'eau océanique qui amortit également le bombardement météoritique. Par exemple, les gaz qui s'échappent du système hydrothermal de Rainbow sur la dorsale océanique au large des Açores renferment 45% d'hydrogène et 43% de dioxyde de carbone, une situation propice à la formation d'hydrocarbures, composés organiques constitués de carbone et d'hydrogène. Effectivement, *des hydrocarbures comprenant entre 16 et 29 atomes de carbone ont été détectés dans ces fluides.*

LA FILIÈRE EXTRATERRESTRE

Les météorites, de l'ordre de quelques dizaines de kilogrammes, arrivent sans être détruits à la surface de la Terre. Actuellement, il en tombe quelques dizaines de tonnes par an mais il en tombait probablement 1000 fois plus il y a 4 milliards d'années. Quelques pourcents des 20000 météorites conservées dans les différents muséums d'histoire naturelle de par le monde, représentées typiquement par les météorites d'Orgueil et de Murchison, renferment des composés organiques, des hydrocarbures mais également des composés plus proches des composés biologiques: acides carboxyliques, acides aminés, hétérocycles azotés, amines, amides, alcools, etc.

La météorite carbonée de Murchison renferme plus de 70 acides aminés différents. Au nombre de ceux-ci on trouve 8 acides aminés protéiques. Dans une molécule organique, l'atome de carbone occupe généralement le centre d'un

tétraèdre. Lorsque les quatre groupes d'atomes aux sommets du tétraèdre sont différents, son image dans un miroir ne lui est plus superposable. Le carbone devient asymétrique. Il existe alors deux formes non superposables, images l'une de l'autre dans un miroir, une forme L et une forme D, comme nos deux mains. Il existe ainsi des acides aminés L et des acides aminés D. Les protéines n'utilisent que les acides aminés L. On dit qu'elles sont homochirales (du grec *kheir*, main).

Dans l'état actuel des connaissances, une vie qui utiliserait indifféremment et simultanément les formes L et D des acides aminés semble très improbable. En revanche, une vie utilisant exclusivement les acides aminés D est parfaitement envisageable. Deux vies symétriques se sont peut-être développées en concurrence sur la Terre primitive, la vie que nous connaissons finissant par l'emporter. Cependant, il n'y a aucune signature fossile connue de cette vie " dans un miroir ". On entrevoit pourquoi la vie doit impérativement être asymétrique mais se pose alors la question de l'origine du signe de la vie actuelle. Une explication pourrait être apportée par les météorites. Dans plusieurs météorites carbonées, il existe en effet un excès d'acides aminés L pouvant atteindre 18%. La découverte d'un rayonnement polarisé dans un nuage moléculaire de la nébuleuse d'Orion pourrait expliquer l'origine extraterrestre de cet excès de forme L, excès qui a peut-être orienté la chimie vers l'asymétrie de la vie.

Des collectes de poussières interplanétaires dans les glaces du Groenland et de l'Antarctique permettent d'évaluer à environ 5×10^{24} g la quantité de micrométéorites accrétées par la Terre pendant les 200 millions d'années du bombardement intense. Considérant que 20 % en poids de ces micrométéorites ne fondent pas pendant la traversée atmosphérique et qu'elles contiennent en moyenne 2,5 % de carbone organique, la masse totale de kérogène livrée à la Terre fut d'environ $\sim 2,5 \times 10^{22}$ g, représentant une couche de 40 m d'épaisseur de « cambouis » à la surface de la Terre. Pour donner un ordre de grandeur, cette valeur représente 25 000 fois la valeur actuelle du carbone biologique recyclé à la surface de la Terre, soit $\sim 10^{18}$ g.

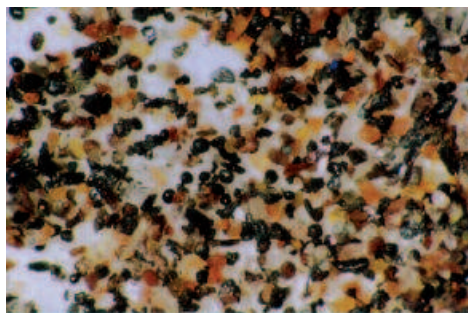


Figure 1. Micrométéorites (50- 100 μ m) collectées dans la glace de l'Antarctique (crédit Michel Maurette).

LES EXPÉRIENCES DE SIMULATION

Pour vérifier la pertinence de la synthèse d'acides aminés dans les conditions du milieu interstellaire, un mélange de glaces d'eau, d'ammoniac, de méthanol, de monoxyde et de dioxyde de carbone a été irradié au Laboratoire d'astrophysique de Leyde aux Pays-Bas, dans des conditions mimant celles du milieu interstellaire (vide poussé, température de -261°C). Une fois ramenés à la température ambiante, les échantillons ont été analysés dans notre laboratoire à Orléans. Nous avons identifié 16 acides aminés dont 6 font

partie des 20 acides aminés protéiques (glycine, alanine, valine, proline, serine, acide aspartique) démontrant ainsi que *la synthèse d'acides aminés est possible dans des conditions simulant le milieu interstellaire.*

Par ailleurs, des films d'un acide aminé – la leucine - contenant des proportions équivalentes de formes D et L, ont été soumis au rayonnement polarisé circulairement de la ligne de lumière SU5 du synchrotron du LURE à Orsay pour simuler les conditions du milieu interstellaire. Les expériences ont permis de mettre en évidence un enrichissement en l'une des formes de l'ordre de 1 à 2%.

Les météorites, dont la masse est supérieure à cent grammes, peuvent transporter les acides aminés. Cependant, l'apport en météorites est très minoritaire comparé à celui des micrométéorites. Des expériences spatiales ont été menées en orbite terrestre pour déterminer à partir de quelle taille une micrométéorite devient un transporteur possible d'acides aminés. Des acides aminés commerciaux, similaires à ceux présents dans la météorite de Murchison, ont été exposés aux conditions de l'espace pendant quinze jours lors de deux vols de capsules automatiques russes FOTON. Ils ont été exposés seuls, mais également enrobés dans une argile. Les analyses effectuées après le vol ont révélé un déficit significatif de certains acides aminés dans les échantillons exposés au rayonnement solaire. Aucun déficit n'a été constaté lorsque les échantillons sont associés à l'argile, dont l'épaisseur doit néanmoins être supérieure à 5 microns.



Figure 2. Le satellite automatique FOTON après son retour dans la plaine du Kazakhstan (crédit ESA)

Un troisième vol s'est déroulé à bord de la station MIR. Pour cette mission, différentes protections minérales ont été utilisées, une argile, une poudre de basalte et une poudre de météorite. Après trois mois en orbite terrestre, les acides aminés ont été détruits à hauteur de 50% en l'absence de protection minérale. A épaisseur égale, c'est la poudre de météorite qui a présenté le meilleur pouvoir protecteur, à partir d'une épaisseur de 5 microns. *En d'autres termes, toute micrométéorite de taille supérieure à 5 microns constitue un bon transporteur d'acides aminés dans l'espace.*

RECRÉER LA VIE EN TUBES À ESSAIS

L'universalité du code génétique et le mode de fonctionnement cellulaire utilisé par tous les systèmes vivants actuels suggèrent que la vie est apparue sous les traits d'une mini cellule. A partir des petites molécules organiques, les chimistes se sont donc efforcés de reconstituer en laboratoire des modèles réduits de membranes, de protéines et d'acides nucléiques, ADN et ARN.

Certaines substances organiques présentes dans les météo-

rites carbonées de Murchison et d'Allende forment des cloisons qui ressemblent à des membranes, une fois plongées dans l'eau. Des acides gras sont notamment présents dans ces météorites. Toutefois, les membranes produites à l'aide de ces composés amphiphiles simples ne sont pas très stables, de sorte que des composés chimiques plus complexes ont vraisemblablement été nécessaires pour conférer une bonne stabilité aux membranes primitives.

Des mini protéines ont été reconstituées en laboratoire. Par exemple, une équipe de chercheurs japonais, en collaboration avec notre laboratoire à Orléans, a obtenu des chaînes renfermant jusqu'à huit acides aminés en faisant passer alternativement une solution d'acides aminés d'une chambre réactionnelle à 220°C à une chambre à 0°C, mimant ainsi les conditions de trempe thermique qui règnent à proximité des sources chaudes sous-marines. Les argiles permettent également d'obtenir des chaînes de mini protéines. Nous avons également réussi à reproduire les géométries des protéines, hélices et feuillets. Des mini protéines construites sur une alternance stricte d'acides aminés hydrophiles et hydrophobes ont été préparées. Elles adoptent toutes une structure en feuillets dans l'eau par agrégation des groupes hydrophobes. Lorsque l'on ajoute de l'alcool à l'eau, la force des interactions hydrophobes qui génèrent les feuillets s'atténue et les mini protéines perdent leurs structures en feuillets. C'est donc l'eau qui, par ses propriétés physiques spécifiques, permet la structuration en feuillets. Ces feuillets sont résistants, ce qui a peut-être permis la sélection des mini protéines à séquence alternée dans les océans primitifs. La formation de feuillets requiert l'utilisation d'acides aminés homochiraux, c'est-à-dire tous L ou tous D. Lorsque les séquences alternées renferment à la fois des formes L et des formes D, seuls les segments contenant au moins six acides aminés homochiraux consécutifs s'agrègent en feuillets. De nombreuses mini protéines manifestent une activité catalytique.

La grande majorité des travaux de reconstitution d'acides nucléiques porte sur les ARN car ils sont considérés comme étant plus anciens, plus primitifs, que les ADN. Certaines bases des nucléotides (les constituants élémentaires de l'ARN, combinaison d'un phosphate, d'un sucre et d'une base) sont obtenues facilement à partir de l'acide cyanhydrique ou en soumettant un mélange gazeux de méthane, d'éthane et d'ammoniac à des décharges électriques. Les bases sont également présentes en très petites quantités dans les météorites et peut-être même dans les comètes. La synthèse des sucres à partir de formaldéhyde fournit un mélange très complexe dans lequel le sucre recherché est très minoritaire. De ce fait, la formation des nucléotides n'a pas pu être reproduite en laboratoire dans des conditions reproduisant l'environnement de la Terre primitive. Pour tourner cette difficulté, les chimistes cherchent maintenant à reconstituer des analogues, ou succédanés, des ARN.

À LA RECHERCHE D'UNE VIE EXTRATERRESTRE

La vie martienne

Les photographies prises par les orbiteurs martiens, de Mariner 9 en 1971 jusqu'à Mars Express (depuis 2003) et Mars Reconnaissance Orbiter (depuis 2006), montrent clairement la présence de lits d'écoulements asséchés attestant qu'un fluide coulait en permanence à la surface de Mars, il y a 3,8 milliards d'années. En 2001, l'orbiteur américain Mars Odyssey a détecté la présence d'atomes d'hydrogène dans le proche sous-sol martien attribués à la présence d'eau gelée, comme dans le pergélisol sibérien. L'existence d'argiles, détectées par les orbiteurs Mars Express et Mars

Reconnaissance, confirme la présence d'eau dans le passé de Mars car ces argiles résultent obligatoirement de l'érosion des silicates par l'eau. Au sol, les rovers Spirit et Opportunity ont analysé des minéraux façonnés par l'eau tandis que l'atterrisseur Phoenix confirmait la présence de glace dans le sol près de la calotte glaciaire du Pôle Nord martien.



Figure 3. Echus Chasma, région martienne riche en traces d'eau, photographiée par la caméra stéréo à haute résolution de Mars Express (crédit ESA).

La présence permanente d'eau suppose une température constamment voisine ou supérieure à 0°C, température atteinte probablement grâce à l'existence d'une atmosphère dense générant un effet de serre important. Grâce à cette atmosphère, la planète a pu accumuler des micrométéorites à sa surface à l'instar de la Terre. Les sondes Viking n'ont pas trouvé de molécules organiques à la surface de Mars mais on dispose de 34 météorites qui proviennent très probablement de Mars (<http://www2.jpl.nasa.gov/snc/>). Ce sont les météorites SNC, dont la fameuse météorite ALH 84001 présentée comme renfermant des nanobactéries martiennes fossilisées. Cette interprétation est aujourd'hui vivement contestée. Cependant, certaines de ces météorites SNC renferment des molécules organiques. *Les ingrédients qui ont permis l'apparition de la vie sur Terre étaient donc rassemblés sur Mars.* Il est dès lors permis de penser qu'une vie élémentaire de type terrestre ait pu apparaître et se développer sur la planète rouge. La mission américaine Mars Science Laboratory et la mission européenne ExoMars auront précisément comme objectif de rechercher des indices d'une éventuelle vie martienne en 2011 et 2018, respectivement.

Les autres sites potentiels du système solaire

Europe, le satellite de Jupiter, pourrait bien présenter des environnements marins ressemblant aux sources sous-marines terrestres. Europe orbite à une distance d'environ six cent mille kilomètres de Jupiter, donc suffisamment près pour être réchauffé par l'effet de marée dû au champ gravitationnel très important de la planète géante. En 1979 et 1980, la mission Voyager avait déjà photographié Europe et montré que sa surface était recouverte par de la glace entaillée de profondes crevasses. Depuis, le vaisseau spatial Galileo a fourni de très belles images montrant notamment des blocs de glace ayant pivoté. La surface présente peu de cratères d'impacts ce qui suggère un remodelage continu de la surface par des phénomènes cryovolcaniques ou tectoniques.

Selon l'un des modèles de structure interne proposé, il y aurait un océan d'eau liquide sous quelques dizaines de kilomètres de banquise, la chaleur nécessaire au maintien de l'eau à l'état liquide étant apportée par les fortes marées internes exercées par Jupiter. Des dépôts de sels ont été observés à la surface d'Europe par spectroscopie dans le proche infrarouge, dépôts qui pourraient provenir de remontées d'eau océanique salée. Enfin, la sonde Galileo a enregistré un champ magnétique induit dans le champ magnétique de Jupiter traduisant la présence d'un conducteur électrique, probablement de l'eau chargée en sels.

Toutes ces observations plaident en faveur de l'existence d'un océan sous-glaciaire d'eau salée. Il est maintenant important de savoir s'il existe sur Europe un magma capable de transférer la chaleur du cœur planétaire vers le fond océanique pour créer des sources hydrothermales et, par conséquent, des molécules organiques. La mise en évidence d'un magma sur Europe fait partie des objectifs prioritaires des missions d'exploration actuellement à l'étude. Si Europe a maintenu une activité de marée et une activité hydrothermale sous-glaciaire, une vie microscopique a pu y apparaître et y est peut-être encore active aujourd'hui. *Europe apparaît de plus en plus comme un lieu privilégié du système solaire pouvant héberger de l'eau liquide et une vie microscopique en activité.*

Titan, le plus gros satellite de Saturne, possède une atmosphère dense d'azote et présente, de ce fait, des similitudes avec la Terre. Après un voyage de sept ans, la sonde Huygens de la mission Cassini-Huygens, a atteint la surface de Titan en 2005. Au cours de la descente, les instruments ont analysé l'atmosphère de Titan et pris des images inédites de sa surface. L'atmosphère de Titan est faite d'azote à plus de 90 %, mais aussi de méthane et renferme d'épais brouillards de molécules carbonées complexes. Des blocs de glace d'eau jonchent le sol. La présence d'eau liquide est exclue car il y règne un froid intense, d'environ -180 °C, mais pourrait exister sous la surface d'après des mesures radar faites depuis la sonde Cassini autour de Saturne. Cassini a également photographié de magnifiques lacs de méthane et d'éthane liquides à la surface de Titan dont la taille peut atteindre 235 km.

Encelade est le sixième satellite de Saturne par la taille et le quatorzième par son éloignement de la planète. Il est couvert de glace. La sonde américaine Cassini a observé à sa surface des jets de gaz – sortes de geysers – renfermant de la vapeur d'eau, du dioxyde et du monoxyde de carbone, mais également de la matière organique (méthane, acétylène, propane). Encelade deviendra vraiment passionnant le jour où on arrivera à démontrer que la vapeur d'eau provient d'un réservoir d'eau liquide sous la surface.

Au-delà du système solaire

Au-delà du Système Solaire, les astrophysiciens ont identifié près de 150 molécules différentes dans le milieu interstellaire. Parmi ces molécules, 94 contiennent au moins carbone et hydrogène, dont l'acide cyanhydrique HCN, l'ammoniac NH₃ et le formaldéhyde H₂CO, molécules susceptibles de conduire aux acides aminés, ce qui atteste du caractère universel de la chimie du carbone. La chimie du silicium, qui lui aussi a quatre bras de liaison comme le carbone, est beaucoup moins active puisque seulement 11 molécules contenant cet élément ont été identifiées.

Il ne reste plus qu'à trouver de l'eau. En avril 2010, le catalogue des exoplanètes comptait 452 planètes extrasolaires.

La plus petite d'entre elles, COROT-7b, dont le diamètre est 1,7 fois celui de la Terre, orbite autour de son étoile en 20 heures mais est bien trop près de son étoile pour être « habitable ». Corot-9b a environ la taille de Jupiter et orbite en 95 jours autour d'une étoile moins chaude que le Soleil. De ce fait, sa température pourrait osciller entre -23°C et 157°C. Le télescope spatial COROT, lancé le 27 décembre 2006, devrait continuer sa moisson ainsi que Kepler, lancé le 6 mars 2009. *La recherche de la vie sur les planètes extrasolaires ne peut se faire que par l'analyse spectrale de singularités dans l'atmosphère.* Sur Terre, par exemple, l'oxygène atmosphérique est une singularité à deux titres: il est surabondant par rapport à la croûte terrestre et il devrait normalement disparaître par recombinaison avec les roches. Sa présence permanente est liée à l'existence d'une vie intense à la surface de la terre et ne manquerait pas d'attirer l'attention de tout extraterrestre observant la Terre à la recherche de vie.

La présence de grandes quantités d'oxygène atmosphérique va être révélée par la raie caractéristique de l'oxygène à 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre dans le spectre visible de la planète. Pour des raisons pratiques, il est plus facile de rechercher la signature de l'ozone O₃, dans le spectre infrarouge à 9,6 mm. *La présence simultanée d'ozone (donc d'oxygène), de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone apparaît aujourd'hui comme une signature probante d'une vie planétaire exploitant largement la photosynthèse.*

Deux projets actuellement à l'étude, portent sur la recherche d'exoplanètes de type terrestre. Le projet américain TPF (Terrestrial Planet Finder) et le projet européen Darwin/IRSI (Infrared Space Interferometer). Ce dernier consiste à placer une flottille de quatre télescopes spatiaux qui seront couplés dans l'espace pour analyser les atmosphères planétaires par interférométrie et y rechercher des singularités dues à une activité biologique.

CONCLUSION

Epicure rêvait d'une infinité de mondes vivants, rêve repris plus tard par de grands penseurs comme Giordano Bruno, Bernard Le Bovier de Fontenelle, Christiaan Huygens, Emmanuel Kant. Certes, ce rêve ne s'est pas encore concrété.

tisé. Cependant, on connaît de mieux en mieux les conditions qui ont permis l'émergence de la vie sur Terre. De même, les sites extraterrestres où règnent des conditions similaires sont de mieux en mieux identifiés. La question de la pertinence de cet acharnement à comprendre, et des moyens financiers investis à cette fin, est quelques fois posée. Einstein apporta une réponse en écrivant : Wichtig ist, dass man nicht aufhört zu fragen (Il est important de ne jamais cesser de questionner). C'est en effet cette curiosité et cet impérieux besoin de comprendre qui ont élevé l'espèce humaine jusqu'aux connaissances actuelles et à la plénitude des arts. Au-delà de ce besoin de comprendre, ces recherches fournissent une preuve de l'importance de l'eau, partenaire incontournable de la vie, ainsi que de la précarité de l'espèce humaine, entité minuscule perdue dans l'immensité de l'Univers.

André BRACK

Bibliographie

La vie est-elle universelle? Brack, A. et Leclercq, B., EDP Sciences (2003).

Et la matière devint vivante, Brack, A. Le Collège de la Cité, Editions Le Pommier (2004).

L'exobiologie ou l'origine chimique de la vie, Brack, A. <http://astro.u-strasbg.fr/goutelas/g2005/> [pdf].

Découvrir la vie extraterrestre, Brack, A., Minipomme, le Pommier (2007).

Looking for life. Searching the Solar System. Clancy, P., Brack, A. et Horneck, G., Cambridge University Press, Cambridge (2005).

La vie dans l'Univers, entre mythes et réalités, Brack, A. et Coliolo, F. Editions La Martinière (2009).

Catalogue des exoplanètes : <http://www.obspm.fr/encycl/catalog.html>

Catalogue des météorites martiennes : http://www.nirgal.net/meteori_table.html

Catalogue des molécules interstellaires : http://www.astrochymist.org/astrochymist_ism.html

Annonce

