

ARTICLE DE FOND

La vie dans L'Univers : de la chimie à l'astronomie

André Brack

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

Dans le précédent numéro, André Brack nous a présenté la chimie prébiotique, celle qui a précédé l'émergence de la vie. Dans ce numéro, il va nous faire faire un tour du système solaire avant d'aborder d'autres horizons.

La recherche d'une vie extra-terrestre

La recherche d'une vie extraterrestre va se concentrer prioritairement sur les corps célestes présentant des conditions similaires à celles qui ont permis l'apparition de la vie terrestre, à savoir l'eau et les molécules organiques. Les molécules d'eau sont très répandues dans l'Univers car elles résultent de la combinaison d'hydrogène et d'oxygène, les deux éléments réactifs les plus répandus dans le cosmos où ils représentent respectivement 70 % et 0,92 % de la masse totale de la matière ordinaire. Quant aux molécules carbonées, les radio-astronomes ont identifié dans l'espace interstellaire plus de 100 molécules contenant du carbone contre seulement 11 molécules contenant du silicium, montrant clairement que la chimie du carbone est plus créative que celle du silicium

Mars

Les résultats fournis par les missions martiennes Mariner 9, Viking 1 et 2, Mars Pathfinder, Mars Global Surveyor, Mars Odyssey, Mars Express, les deux Mars Exploration rovers Spirit et Opportunity et la sonde Phoenix indiquent clairement (fig 1) que Mars a abrité de grandes quantités d'eau à sa surface.

La présence permanente d'eau suppose une température constamment voisine ou supérieure à 0°C, température atteinte probablement dans le passé 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 ingrédients qui ont permis l'apparition de la vie sur Terre étaient donc rassemblés sur Mars.



Fig.1. Echus Chasma, région martienne riche en traces d'eau, photographiée par la caméra stéréo à haute résolution de Mars Express (crédit ESA).

Il est dès lors tentant de penser qu'une vie élémentaire de type terrestre ait pu apparaître et se développer sur la planète rouge. Les sondes Viking n'ont pas trouvé de molécules organiques à la surface de Mars mais certaines météorites SNC (d'après les trois classes de météorites Shergotty, Nakhla et Chassigny) renferment des molécules organiques. Ces météorites, aujourd'hui au nombre de 50, proviennent très probablement de Mars. Parmi elles, figure la fameuse météorite ALH 84001 présentée comme renfermant des nano bactéries martiennes fossilisées. Cette interprétation est aujourd'hui abandonnée.

La mission américaine Mars Science Laboratory aura précisément comme objectif, en 2012 de rechercher des indices d'une éventuelle vie martienne. Les espoirs européens reposent sur la mission ExoMars actuellement à l'étude pour un lancement en 2018.

Europe

Europe, le satellite de Jupiter, pourrait bien présenter des environnements marins ressemblant aux sources sous-marines terrestres. Europe tourne 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. La surface présente peu de cratères d'impacts ce qui suggère un remodelage continu de la surface par des phénomènes cryovolcaniques ou tectoniques. La sonde Galileo a enregistré un champ magnétique induit dans celui de Jupiter traduisant la présence d'un conducteur électrique, très probablement de l'eau salée. 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. Toutes ces observations plaident en faveur de l'existence d'un océan sous-glaciaire 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.



Fig.2. Surface d'Europe. Crédit: NASA/JPL/University of Arizona.

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 de l'exploration d'Europe 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

Titan, le plus gros satellite de Saturne, possède une atmosphère dense de 1,5 bar constituée essentiellement d'azote (plus de 90%) mais aussi de méthane et d'un peu d'hydrogène. L'atmosphère renferme également d'épais brouillards d'aérosols organiques. Les observations recueillies par les missions Voyager et Cassini-Huygens et les mesures faites à partir de la Terre indiquent clairement la présence de nombreux hydrocarbures et de nitriles dans ce milieu. Parmi ces composés organiques figurent l'acide cyanhydrique, l'acétylène, le cyanoacétylène, véritables passages obligés de la chimie prébiotique. Titan représente donc un véritable laboratoire de production de composés prébiotiques à l'échelle planétaire.

Le chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (GC-MS) de la sonde Huygens de la mission NASA-ESA Cassini-Huygens lancée en octobre 1997 a mesuré en janvier 2005 la composition chimique et les abondances isotopiques, depuis une altitude de 140 km jusqu'à la surface : azote et méthane sont les principaux constituants de l'atmosphère, les rapports isotopiques $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ suggèrent une fourniture permanente de méthane dans l'atmosphère, la surface est "mouillée" par du méthane liquide et est riche en composés organiques (cyanogène, éthane,...) et la présence de ^{40}Ar traduit l'existence d'une activité géologique interne.

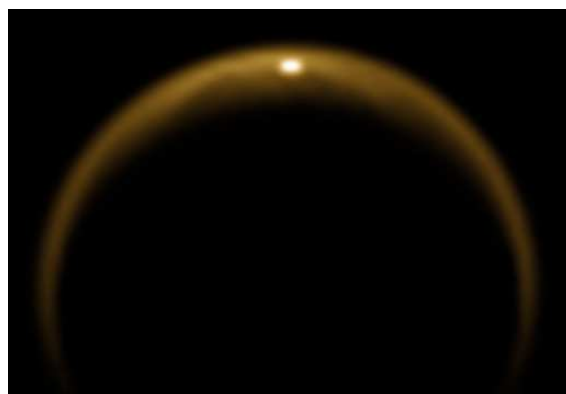


Fig.3. Lumière du Soleil réfléchie à la surface d'un lac de Titan. Crédit photo : NASA/JPL/University of l'Arizona.

Bien que des traces de vapeur d'eau aient été détectées par le satellite ISO dans la haute atmosphère, la température de l'ordre de -180°C , régnant près de la surface y interdit la présence d'eau liquide. Toutefois, les modèles de structure interne et les données de la mission Cassini-Huygens, suggèrent la présence d'aquifères profonds. Cet océan contiendrait environ 10% d'ammoniac et aurait une épaisseur d'environ 100 km. Il

serait situé entre deux épaisses couches de glace d'eau. Il est possible que pendant les premières dizaines de millions d'années qui ont suivi la formation de Titan, cet océan ait été en contact avec l'atmosphère sur un fond rocheux, une situation analogue à celle des océans terrestres. Il est dès lors possible d'y envisager l'émergence d'une vie.

Encelade

L'orbiteur saturnien Cassini a observé l'activité géophysique d'Encelade, un autre satellite de Saturne. Plusieurs des instruments de la mission ont mis en évidence la présence de gigantesques panaches de plusieurs centaines de kilomètres émis au pôle sud.

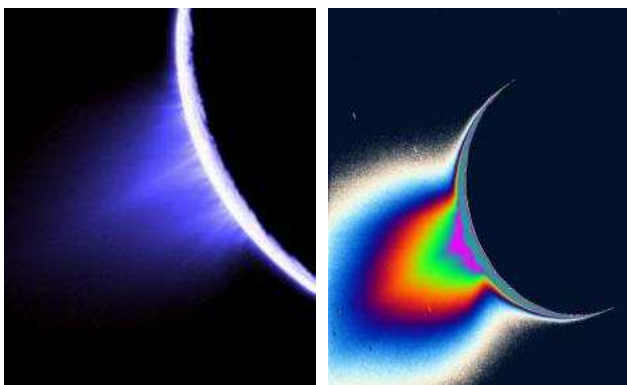


Fig.4. Projections au pôle sud d'Encelade ; à droite, image en fausses couleurs mettant en évidence les détails du panache.

Crédit photo : NASA/JPL.

Ces panaches sont principalement constitués de glace et de vapeur d'eau, mais contiennent aussi de nombreux composés organiques, méthane, acétylène, propane. Ces geysers pourraient provenir de réservoirs internes d'eau liquide sous pression, en contact avec un magma rocheux, hypothèse confortée par la présence de sel dans les panaches. Les conditions indispensables à l'apparition et au développement de la vie seraient donc présentes au sein d'Encelade.

Les exoplanètes

Au-delà du Système Solaire, la chimie organique est universelle. Il ne reste plus qu'à trouver de l'eau. En avril 2011, le catalogue des exoplanètes comptait 544 planètes extrasolaires. Les télescopes spatiaux COROT, lancée le 27 décembre 2006, et KEPLER lancé le 6 mars 2009 ont déjà détecté des planètes telluriques en orbite autour d'autres étoiles mais, à ce jour, seule l'une d'elles aurait une température compatible avec la présence d'océans. La recherche de la vie sur les planètes extrasolaires ne peut se faire que par l'analyse spectrale de ses manifestations, apparaissant comme des singularités

dans l'atmosphère. C'est précisément le cas de l'oxygène terrestre dont la présence permanente est liée à l'existence de la vie. 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. Le projet européen Darwin/IRSI (Infrared Space Interferometer) 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

Les qualités exceptionnelles de la chimie du carbone associée à l'eau confèrent à ce couple un rôle privilégié dans la recherche de vie extraterrestre. Mais est-ce suffisant ? La probabilité de l'émergence de la vie va dépendre du degré de complexité de la chimie de l'origine de la vie, du nombre et de la diversité des molécules nécessaires. Si le processus est simple, toute planète rocheuse, dotée d'une taille suffisante pour retenir une atmosphère et à la bonne distance de l'étoile pourrait faire émerger la vie. Les spécificités de la Terre, comme le champ magnétique permanent, la tectonique de plaque, l'existence d'un satellite, ne seraient pas requises, a priori. La découverte de la première vie extraterrestre apporterait une preuve de simplicité en démontrant le caractère répétitif du processus. Cette deuxième genèse est devenue l'obsession des exobiologistes. Sa découverte tirerait la Terre de sa solitude cosmique.

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, Éditions Le Pommier (2004).
 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. Éditions 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