

Origine de la vie et vie extra-terrestre

La Rédaction⁽¹⁾

Introduction

À l'origine de la vie, il y a un système chimique capable d'auto-reproduction (transfert autonome d'une information moléculaire) et d'évolution (adaptation). Par comparaison, on peut évoquer les pièces d'un petit automate chimique et les questions qui se posent alors sont : quelles pièces ? combien ? quel type d'automate ? Les pièces sont des molécules organiques construites avec des atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote (CHON) présentes dans l'eau.

La question de l'origine de la vie peut être abordée de deux façons :

- rechercher l'automate primitif (trouver le cadavre) et s'interroger sur son mode de vie ;
- remonter les indices jusqu'à l'automate primitif.

Recherche de l'automate primitif (LUCA = Last Universal Common Ancestor)

Les processus géodynamiques (tectonique des plaques) s'appliquant à une Terre vieille de 4,6 MMa, rendent difficiles la mise en évidence de témoins de vie très anciens. En fait, on en a trouvé dans trois ceintures de roches vertes :

- en Australie (Warrawoona) : bactéries fossilisées dans des stromatolithes ; âge 3,5 MMa ;
- en Afrique du Sud (ceinture de Barberton) : empreintes de mini-chapelets à 3 bactéries ; âge 3,3-3,4 MMa ;
- au Groenland (Isua), kérogènes enrichis en C₁₂ par rapport aux carbonates minéraux dans des sédiments à 3,85 MMa, un enrichissement caractéristique du milieu vivant.

Une spécialiste mondiale de ces traces de vie primitives, Frances Westall, a rejoint le Centre de Biophysique moléculaire d'Orléans début 2002.

L'espoir de remonter plus loin dans le temps est réduit, pour quatre raisons :

- avec la tectonique des plaques, les traces des automates sont anéanties dans le manteau ;
- entre 4 et 2 MMa, il n'y a pas d'atmosphère à oxygène, donc pas de couche protectrice : la surface de

la Terre est brûlée par les UV ; la vie ne peut exister que dans l'eau ;

- il y a trop d'eau, donc trop d'érosion ;
- la vie (biosphère) a contribué à effacer les traces de premiers cadavres en produisant d'énormes quantités d'oxygène, un poison chimique des automates primitifs.

Remonter les indices jusqu'à l'automate primitif

Les molécules de base de la vie peuvent être créées à partir d'eau et de formes gazeuses du carbone (CO₂, CO, CH₄).

Première voie

S'appuyant sur les idées d'Alexandre Oparin et John Haldane qui, dans les années 1920, proposaient l'existence d'une soupe primitive, source de la vie, Stanley Miller, en 1953, réussit, à partir d'un mélange CH₄/NH₃/H₂/H₂O, à créer quatre acides aminés en une semaine via la formation intermédiaire de formaldéhyde H₂CO (formol) et d'acide cyanhydrique HCN. Malgré son intérêt, cette expérience révolutionnaire se heurte à l'incertitude sur la présence de CH₄ dans les premiers âges de la Terre, contrairement au CO₂. Reprise en remplaçant le CH₄ par du CO₂, l'expérience de Miller ne marche pas. Pour qu'elle marche, il faut que H₂ soit présent.

Deuxième voie

Le sujet sera repris autour de l'hydrothermalisme sous marin et la mise en évidence, d'une part de grandes quantités d'hydrogène évacuée à partir de "fumeurs noirs" au fond de l'océan, d'autre part d'un développement de vie très important autour de ces fumeurs avec bactéries chimioautotrophes capables de se développer dans ces milieux extrêmes (pression, température pouvant aller jusqu'à +113°C, consommation de l'hydrogène, du gaz carbonique, du soufre, ...). Grâce à son robot, le Nautilie, l'Ifremer a pu collecter des échantillons de gaz du fumeur de Rainbow (dorsale atlantique). Les analyses ont donné :

- 45 % H₂ ;
- 6 % CH₄ ;
- 43 % CO ;
- 4 % N ;
- 2 % H₂S.

1. La Rédaction, d'après la conférence d'André Brack au BRGM le 23 novembre 2001 : "Origine de la vie et vie extra-terrestre". André Brack, Directeur de Recherches CNRS au Centre de Biophysique moléculaire d'Orléans, a bien voulu relire et compléter ce texte.

Une nouvelle plongée, en juin 2001, a permis à l'Ifremer de recueillir des échantillons dans lesquels seront recherchés divers précurseurs chimiques des molécules biologiques comme le formaldéhyde et l'acide cyanhydrique mais également des molécules biologiques comme les acides aminés.

Troisième voie

Autre axe de recherche des traces de vie primitives : l'Espace, et la réponse à la question : "la vie terrestre peut-elle trouver ses matières premières dans l'Espace" ? La recherche s'est ainsi focalisée, d'une part sur les météorites et micrométéorites, d'autre part sur l'exploration du système solaire et au-delà.

Etudier les micrométéorites signifie d'abord de les collecter. D'où le choix de l'Antarctique, ce qui permet de récupérer les micrométéorites dans le sable obtenu en faisant fondre la glace. Contrairement à ce qu'on pourrait croire, 80-90 % des grains obtenus ne fondent pas au moment où ils impactent l'atmosphère terrestre. Les micrométéorites renferment du carbone organique qui, lors de sa combustion, provoque une détente qui refroidit le grain et permet de le préserver.

L'étude de ces grains a montré qu'ils contenaient de nombreuses molécules organiques. Les micrométéorites sont apparentées aux chondrites carbonées, et en particulier la météorite de Murchison (Martin Horysi, 1997) qui a fourni plus de 500 molécules organiques différentes. Mises dans l'eau, certaines de ces molécules forment des vésicules qui pourraient préfigurer des membranes de bactéries. Sur les 20 acides aminés utilisés dans les systèmes vivants, 8 ont été trouvés dans les météorites : glycine, alanine, valine, leucine, isoleucine, proline, acide aspartique et acide glutamique. Par ailleurs, certains acides aminés inclus dans la météorite de Murchison ont montré une dissymétrie gauche dominante, une exclusivité du vivant terrestre.

Cette dissymétrie pourrait trouver son origine dans l'action d'un rayonnement protosolaire, polarisé circulairement, comparable à celui qui vient d'être découvert dans le nuage moléculaire de la nébuleuse d'Orion. Les essais menés en laboratoire utilisant le rayonnement synchrotron polarisé du LURE à Orsay sont encourageants. A ce propos, il faut noter que l'atmosphère de Titan, un des satellites de Saturne, est le siège d'une chimie organique très active qui a peut-être gardé le souvenir de cette chimie protosolaire asymétrique. On peut dès lors regretter que la sonde Huyghens lancée en 1997 vers Titan ne comporte pas de polarimètre chargé de mesurer une asymétrie éventuelle.

L'expérience réalisée avec des acides aminés placés dans l'équipement "Biopan" installé sur un satellite russe (2 vols de 10 j) et sur la station Mir (1 vol de 3 mois) a montré que les acides aminés étaient stables chimiquement dans l'espace à condition d'être recouverts d'au moins 5 microns de poussière météorique. Il en a été conclu que toute météorite de taille supérieure à 5 microns pouvait apporter des acides aminés sur Terre.

Autre interrogation, quantitative cette fois : quelle quantité de météorites est parvenue sur Terre ? En premier lieu, l'analyse des échantillons lunaires a permis de dater 6 cratères lunaires et d'élaborer une chronologie de la cratérisation. Par ailleurs, Hartmann a pu établir une courbe du taux de cratérisation météoritique au fil du temps et montré qu'au début de la Terre il y avait un million de fois plus d'impacts qu'aujourd'hui, soulignant l'énorme quantité de carbone apportée sur Terre. On aboutit ainsi au tableau suivant :

	Météorites	Micrométéorites
Fourniture annuelle, de nos jours	10 tonnes	1500 tonnes
Météorites carbonées - hydratées	2%	90%
C apporté par an, de nos jours	0,01 tonnes	20 tonnes
C total apporté depuis origine Terre	?	1017 tonnes (biomasse = 10 ¹² t)

Il faut noter qu'un gros impact météoritique (400 km de diamètre) suffit pour vaporiser toute l'eau océanique de la Terre. Le dernier gros impact aurait eu lieu vers 4,4 à 4,3 MMa. De plus petits impacts (diamètre 30 km) sont suffisants pour vaporiser les 200 premiers mètres océaniques et il y en a eu jusqu'à 3 MMa environ. Ces cataclysmes expliquent que la vie sur Terre n'ait vraisemblablement pu démarrer qu'au fond des océans, dans des conditions extrêmes de température et de pression certes, mais au sein d'un milieu liquide permettant la diffusion des petits "automates" initiaux à l'abri des gros impacts météoritiques et cométaires.

Assembler les indices

Les travaux réalisés sur le vivant contemporain (vie cellulaire basée sur un code génétique universel) suggèrent une origine commune avec une cellule primitive utilisant les précurseurs de trois types de molécules :

- molécules de compartimentation (membranes) ;
- molécules informatives (acides nucléiques ARN et ADN) ;
- molécules catalytiques (enzymes protéiques).

Les chimistes ont réussi à reconstituer des précurseurs de membranes. Au Centre de Biophysique d'Orléans, ils ont

pu reproduire des mini-protéines. Par contre, la grosse difficulté est venue des molécules informatives. De très nombreuses expériences menées, notamment sur un système adénine - sucre - phosphate mimant les ARN primitifs, se sont heurtées à la difficulté de fabriquer simplement le composant "sucre" (molécules informatives). Pour l'instant, on ne voit donc pas comment l'acide nucléique a pu apparaître de façon simple dans l'océan primitif. Les chimistes recherchent à présent des molécules informatives plus simples, en tube à essais, mais également sur d'autres planètes où des automates similaires ont pu être formés et peut-être conservés dans de meilleures conditions.

Les images envoyées de Mars par les deux sondes Viking (1976) ont montré ce qui pourrait correspondre à des lits de rivières asséchés, donc des traces de ruissellement. Ultérieurement, Mars Global Surveyor a rapporté une image de canyon avec une rivière au fond. Certains ont avancé que ces formes de relief pourraient avoir été créées par de la neige carbonique fondue. Ceci impliquerait une pression et un effet de serre très importants, incompatibles avec Mars actuel, et un réservoir de CO₂ liquide difficile à imaginer.

Le fait que les deux missions Viking ultérieures n'aient pas trouvé de molécules organiques sur Mars, est lié au fait que la surface de la planète est oxydée mais ne signifie pas qu'il n'y ait pas une trace de vie en profondeur. Confirmation ne pourra être apportée qu'en procédant à un échantillonnage approprié en perçant la couche oxydée.

Parmi les 20 000 météorites conservées dans les tiroirs des Muséum National d'Histoire Naturelle, 18 météorites, appelées SNC (pour Shergotty, Nakhla, et Chassigny), proviennent du même corps parent. L'une d'entre elles renferme une poche de gaz de composition cohérente avec l'atmosphère de Mars. La certification martienne ne pourra être faite que lorsque l'on disposera de roches de Mars, de même que l'homogénéité Terre-Lune n'a pu être prouvée que lorsque l'on a disposé d'échantillons lunaires.

Les biosignatures décrites dans la météorite ALH84001 sont toujours controversées. Certains ont évoqué la contamination des météorites, dans l'Antarctique, notamment au travers de nanograins de magnétite qui peuvent être fabriqués par des magnéto-bactéries connues sur Terre. Les méthodes de micro-détection par nanosondes devraient permettre de lever bientôt ces ambiguïtés. Par ailleurs, alors que les 18 micrométéorites SNC ont toutes une origine ignée, il importe de trouver des témoins sédimentaires dans lesquels des traces d'une éventuelle vie martienne seraient préservées. Des photos de Mars soulignent des empilements pouvant correspondre à des sédiments d'origine éolienne ou, plus probablement, lacustres.

Pour démontrer que des météorites sédimentaires pourraient être préservées lors de l'entrée atmosphérique, un échantillon de dolomie a été enchâssé dans le bouclier thermique d'une sonde spatiale automatique russe. La décrépitation pendant l'entrée atmosphérique n'a touché que 70 % de l'échantillon, laissant le cœur intact. Ce qui semble montrer que des météorites sédimentaires pourraient être préservées.

Ces résultats soulignent l'importance de pouvoir procéder à une collecte d'échantillons sur Mars : échantillons en profondeur et échantillons sédimentaires. La mission européenne "Mars Express" sera, entre autres, chargée de cette collecte, au travers d'échantillons analysés sur place. L'orbiteur comportera différents capteurs (infra-rouge, radar permettant une reconnaissance sur 2 km de profondeur, caméra stéréo) et un atterrisseur comportant 11 kg d'instruments, notamment une chambre de combustion et un cylindre percuteur pour collecter des échantillons sous la surface.

Pour l'échantillonnage des roches de surface, un barillet a été mis au point par les chercheurs anglais, comportant : spectro de rayons X, caméra stéréo, microscope (résolution 4 microns), spectro Mössbauer (degré d'oxydation du fer), carottier et broyeur (décapage de la surface des roches analysées).

Le lancement de la sonde est prévu en juin 2003 et les premiers résultats devraient être disponibles fin 2003-début 2004.

Une autre mission est programmée par le CNES et la NASA. L'objectif est de rapporter des échantillons de Mars sur la base d'une sélection judicieuse de sites de prélèvement. Deux atterrisseurs différents devrait permettre de collecter 500 g de roche chacun. Une fusée Ariane 5 sera envoyée pour récupérer ces deux échantillons. Retour des échantillons envisagé vers 2014.

Autre projet, la reconnaissance d'Europe, un satellite de Jupiter, une lune recouverte de glace, sous laquelle se trouve peut-être un océan. Des prélèvements dans cet océan et la recherche de traces d'hydrothermalisme (fumeurs noirs) impliquent de percer 10 à 100 km de glace. Par ailleurs, la présence de près de 70 molécules organiques dans le milieu interstellaire a été démontrée, mais, pour l'instant, pas de traces d'acides aminés. L'exploration se poursuit donc au-delà du système solaire à la recherche d'exoplanètes possédant des océans à leur surface. Plus de 80 planètes ont été détectées. L'idée est de se focaliser sur l'exploration des petites, les plus propices à la présence de vie. La Mission Corot et le projet Darwin (5 télescopes) sont programmées pour une telle recherche.

Conclusions

Les chances de trouver, sur Terre, des traces de vie fossile proches de l'âge de la Terre (> 4,5 MMA) sont faibles. Les essais de reconstitution de molécules primitives par voie chimique n'ont, pour l'instant, pas abouti à un système simple de fabrication d'acide nucléique.

La possibilité que les premiers composants du milieu vivant aient une origine extraterrestre est envisagée et divers indices militent en ce sens : composés organiques (sauf acides aminés, pour l'instant) présents dans le milieu interstellaire ; composés organiques, dont acides aminés, présents dans les météorites et micrométéorites tombées sur Terre ; témoignages de la présence d'eau et de sédiments sur Mars.

La collecte d'échantillons de Mars est devenue une priorité, à la fois pour valider que les météorites SNC (qui pourraient provenir de Mars) n'ont pas été contaminés sur Terre et pour collecter, sous la surface, des échantillons de sédiments de Mars, susceptibles de contenir des traces de vie.

Pour en savoir plus

Sites Internet

http://www.resa.net/nasa/origins_life.htm
http://rainier.vsc.washington.edu/academic/planetslife/anbibs/origin_o_life.html
<http://astrobiology.arc.nasa.gov/>
<http://origins.jpl.nasa.gov/>
<http://www.reston.com/astro/exobiology.html>
http://www.geology.gla.ac.uk/or_life/OofLhome.htm

Livres et revues

l'Astronomie, 2001 :

Spécial Exobiologie, Vol. 115, Juin 2001.

Brack A., Raulin F., 1991 :

L'évolution chimique et les origines de la vie. Masson.

Brack A., 1998 :

The molecular origins of life : assembling pieces of the puzzle. Cambridge University Press.

Brack A., Mathis P., 2000 :

La chimie du vivant. De la protéine à la photosynthèse. Quatre à Quatre, Ed. Le Pommier.

Clark S., 2000 :

Life on other worlds and how to find it. Springer-Praxis.

Danchin A., 1990 :

Une aurore de pierre. Seuil.

De Duve Ch., 1990 :

Construire une cellule. InterEditions.

De Duve Ch., 1996 :

Poussière de vie. Fayard.

Delsemme A., 1994 :

Les origines cosmiques de la vie. Flammarion.

Heidmann J., 1992 :

Intelligences extraterrestres. Odile Jacob.

Horneck G., Baumstark-Khan C., 2001 :

Astrobiology : the quest for the conditions of life. Springer.

Jakosky B., 1998 :

The search for life on other planets. Cambridge University Press.

Leroy F., 1993 :

L'Origine de la Vie. Biocosmos Centre.

Levasseur-Regourd A.C., 1997 :

Comètes et astéroïdes. Le Seuil.

Lunine J.L., 1999 :

Earth : Evolution of a habitable world. Cambridge University Press.

Mason S., 1992 :

Chemical Evolution. Clarendon Oxford Press.

Maurel M.C., 1994 :

Les origines de la vie. Syros.

Maurel M.C., 1999 :

La naissance de la vie. De l'évolution prébiotique à l'évolution biologique. Diderot Editeur.

Maurette M., 1993 :

Chasseurs d'étoiles. Hachette.

Olomucki M., 1991 :

La chimie du vivant. Hachette.

Raulin F., 1991 :

L'apparition du vivant. Presses Pocket - Cité des Sciences.

Raulin F., 1994 :

La vie dans le cosmos. Dominos Flammarion.

Raulin F., Raulin F. et Schneider J., 1997 :

La bioastronomie. Que sais-je ?

Shapiro R., 1988 :

L'origine de la vie : le sceptique et le gourou. Eshel.

Wills C., Bada J., 2000 :

The spark of life. Perseus Publishers.

Chapitres de livres

Brack A., 1999 :

Origine de la vie.

Supplément de l'Encyclopaedia Universalis, pp. 743-750.

Brack A., 1999 :

Sommés-nous seuls ?

In Le Grand Livre du Ciel, Bordas, pp. 92-115.

Brack A., 2000 :

Origine et distribution possible de la vie dans l'Univers.

In Qu'est-ce que la vie ? Université de Tous les Savoirs, Odile Jacob, pp. 37-46.

Brack A., 2000 :

Water, the spring of life.

In Astrobiology : The Quest for the conditions of life. Eds. G. Horneck et C. Baumstark-Khan, Springer, Berlin, pp. 79-88.