

Les origines de la vie

Serge Smidtas

Lycée Louis-le-Grand

L'origine de la vie fait appel à de nombreuses hypothèses qui s'appuient sur tous les domaines scientifiques. Depuis l'expérience de Miller qui a ouvert la voie en poussant les recherches vers la chimie organique aqueuse, les scientifiques se sont ensuite confrontés à l'explication de l'homochiralité. Enfin, de nouvelles formes de vie découvertes ont apporté un nouveau point de vue sur la vie et ses origines.

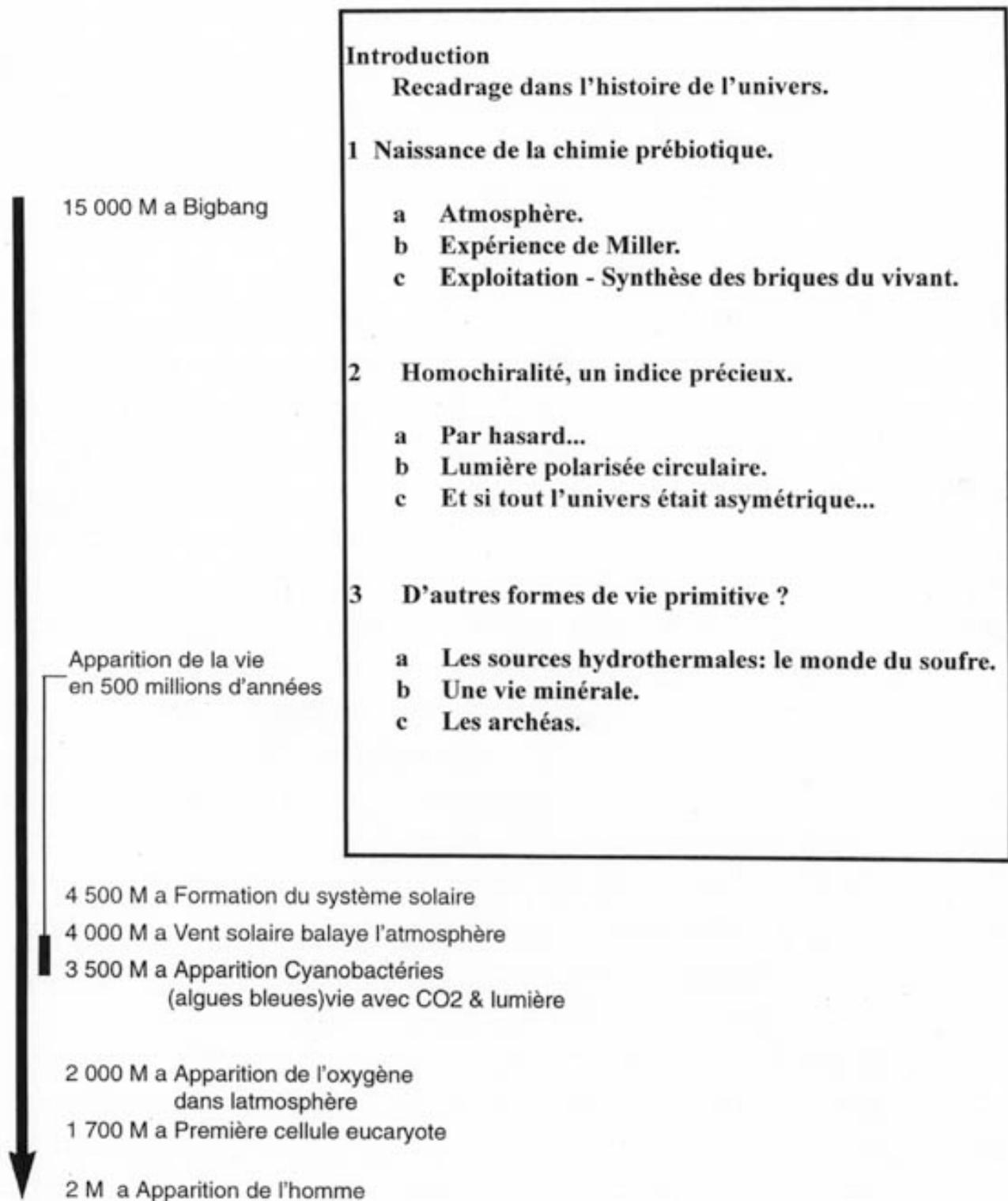
Summary:

The origins of life are still mysterious and existing theories rely on all scientific domains. It started with Miller experiment, that opened the gates to the organic chemistry in water. Scientists later confronted themselves to explaining homochirality. Finally, new types of life were discovered recently, such as archaea, which has introduced a new point of view of the origins of life.

Mots clés: origine, vie, Miller, homochiralité, événement, archéa, argile.

Key words: origin, life, Miller, homochirality, hydrothermal event, archaea, clay.

Introduction



L'apparition de la vie sur Terre demeure une énigme. Bien qu'abondent de nombreuses hypothèses faisant appel à tous les domaines de la science (biochimie, thermodynamique, exobiologie, mécanique quantique, astrophysique, probabilités, géologie...), aucune explication rigoureuse et globale n'est apparue. L'histoire est pourtant fascinante et pleine de rebondissements parce qu'il existe de nombreux indices, mais aucune théorie ne les explique tous. Et chaque avancée de la science permet chaque jour de formuler ou d'affiner des hypothèses.

Pour expliquer comment est apparue la vie, il faut se replacer dans les conditions de l'époque, il y a 4 milliards d'années...

1/ Naissance de la chimie prébiotique et Expérience de Miller.

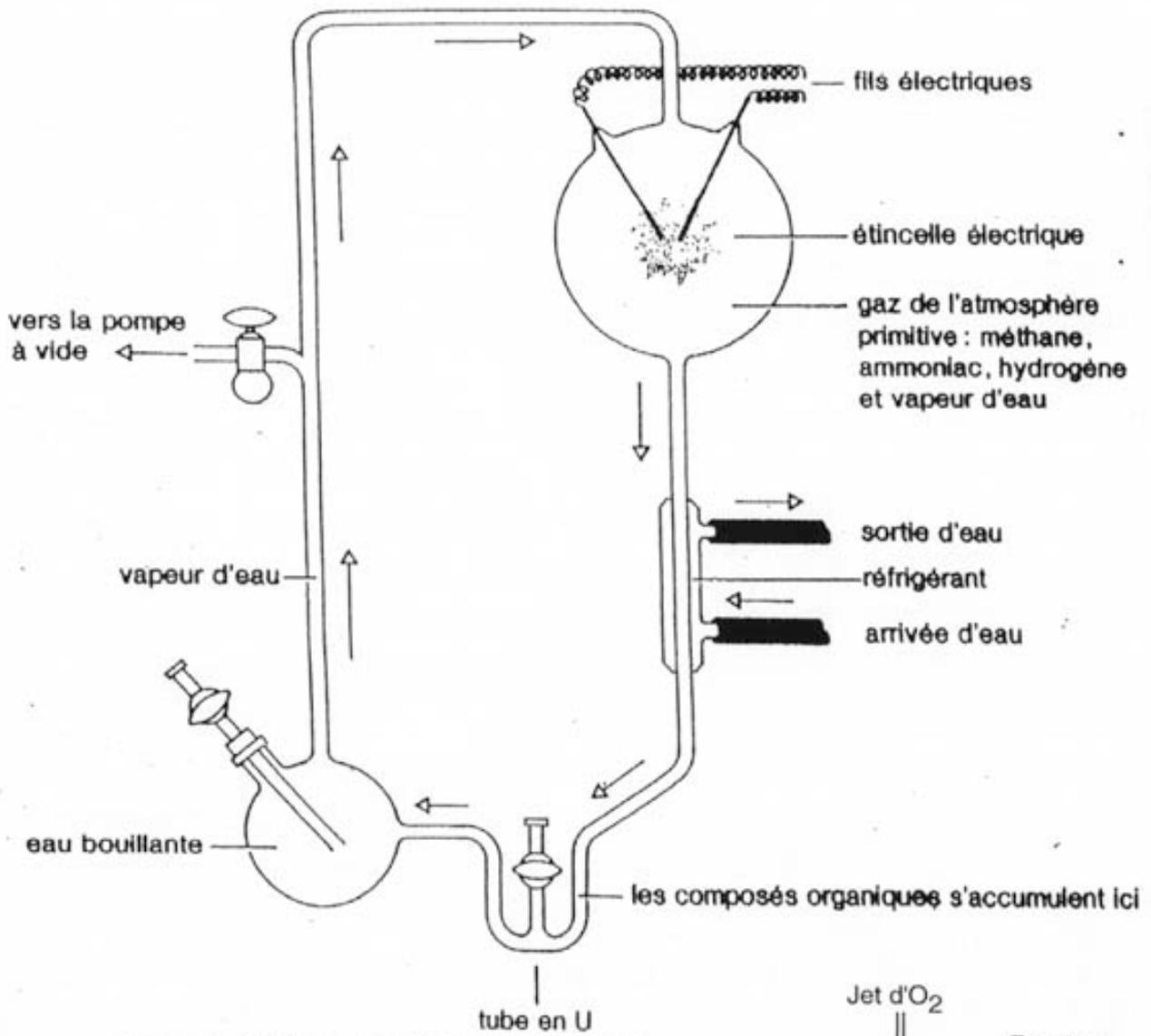
a/ Atmosphère

Une étoile explose. Un nuage de poussière se forme, puis par accrétion de cette poussière et de gaz, la Terre se forme il y a 4 milliards d'années. Aucune molécule organique n'existe alors. Pour les construire, il faut de l'énergie et des matières premières. A la surface de la Terre, les éclairs peuvent jouer le rôle de source d'énergie. Quant aux premières molécules organiques, elles proviennent des gaz de l'atmosphère.

Cette atmosphère n'est pas créée par capture lors de l'accrétion car les gaz rares que l'on trouve dans l'atmosphère actuelle ne sont pas en même proportion que dans le Soleil. Les météorites auraient pu nous apporter l'atmosphère. Mais ce n'est pas non plus ainsi qu'a été créée l'atmosphère terrestre, car Mars proche de la Terre a reçu le même bombardement de météorite mais n'a pas les mêmes gaz rares (^{36}Ar) que la Terre.

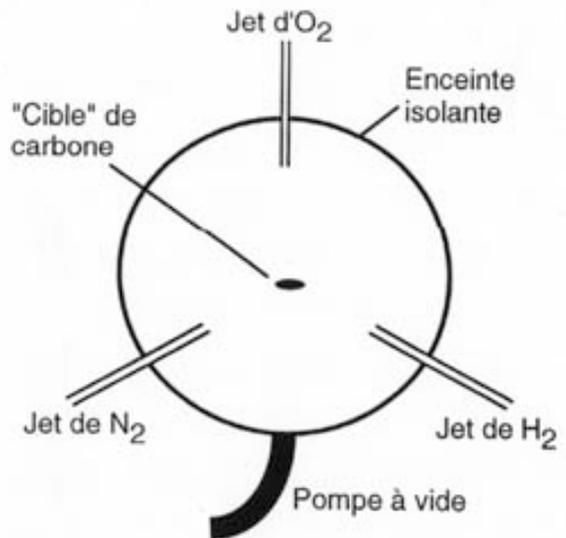
C'est du dégazage du manteau que provient l'atmosphère. L'activité volcanique juste après l'accrétion était beaucoup plus importante qu'aujourd'hui. Les gaz émis par ces volcans sont cependant les mêmes que ceux émis aujourd'hui: CO_2 CH_4 SO_2 H_2 H_2S . On a aussi retrouvé des traces de gaz piégé dans des diamants qui corroborent cette composition; et le CO_2 par son effet de serre est absolument nécessaire pour conserver l'eau liquide. L'ammoniac aurait été de toute façon détruit par les UV, et l'hydrogène est trop léger.

b/ Expérience



Atmosphère oxydante (Volcanisme)
 CO_2 , N_2 , H_2O

Atmosphère réductrice (Miller)
 CH_4 , NH_3 , H_2 , H_2O



Stanley Miller a voulu reproduire les conditions de la Terre à cette époque. Il a enfermé en 1953 dans un ballon des gaz CH_4 , NH_3 , H_2 et H_2O et produit des éclairs à l'intérieur pendant 7 jours.

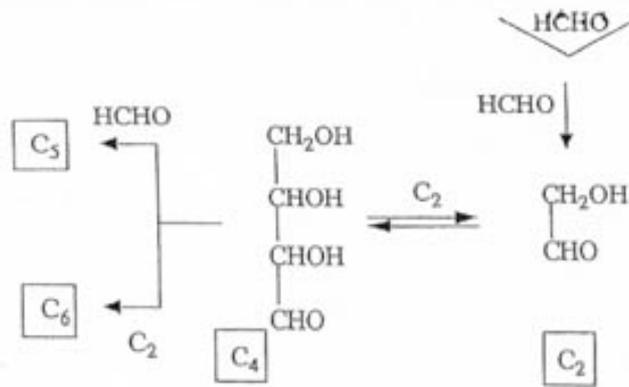
Résultat: Il a obtenu des molécules organiques et notamment de l'urée, du formaldéhyde(HCHO), de l'acide cyanhydrique(HCN) et des acides aminés. Certains composés étant présents à plus de 2% .

Miller a utilisé une atmosphère réductrice (CH_4 , NH_3 , H_2 , H_2O) et non pas une atmosphère oxydante.

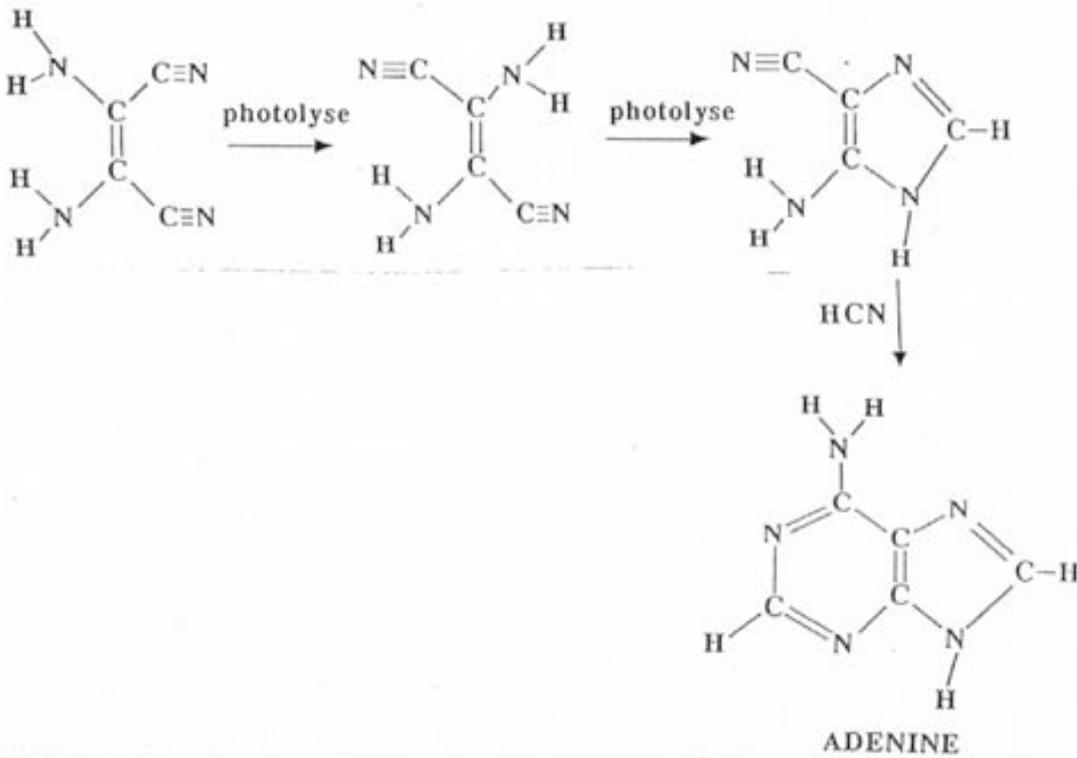
Depuis l'expérience a été refaite plusieurs fois, en variant la composition de l'atmosphère et la source d'énergie, avec des UV notamment. Mais l'atmosphère oxydante (CO_2 , N_2 , H_2O) qui provient du volcanisme donne de très mauvais rendements.

c/ Exploitation

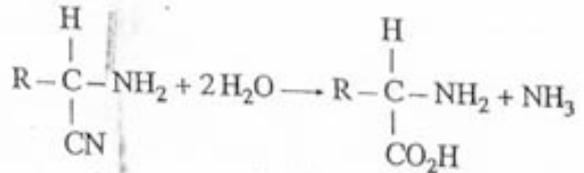
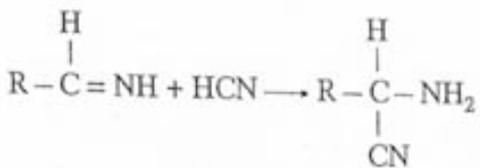
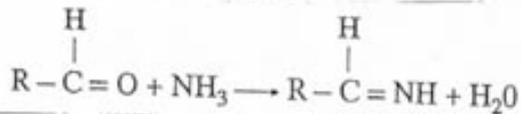
sucre:



Bases:



Acides Aminés: Synthèse de Strecker



Il a fallu ensuite trouver les réactions chimiques qui se sont produites dans l'enceinte. Ainsi est née la chimie organique dans l'eau.

Synthèse des briques du vivant: Les sucres/ les Bases/ Les A.A. (voir figure)

Ces réactions nécessitent de fortes concentrations, des domaines de température et de pH très strictes qui font que ces mécanismes sont très improbables: Une mare desséchée pourrait peut-être expliquer les fortes concentrations. De plus les intermédiaires réactionnels n'ont pas été trouvés dans l'expérience de Miller.

L'expérience fut, pour cela, très critiquée. De plus, les molécules organiques obtenues peuvent à priori provenir d'une contamination par l'extérieur! Mais une analyse plus poussée des molécules obtenues montre que l'on obtient un mélange racémique de molécules, alors que les A.A. naturels n'existent que sous une de leur 2 formes énantiomères.

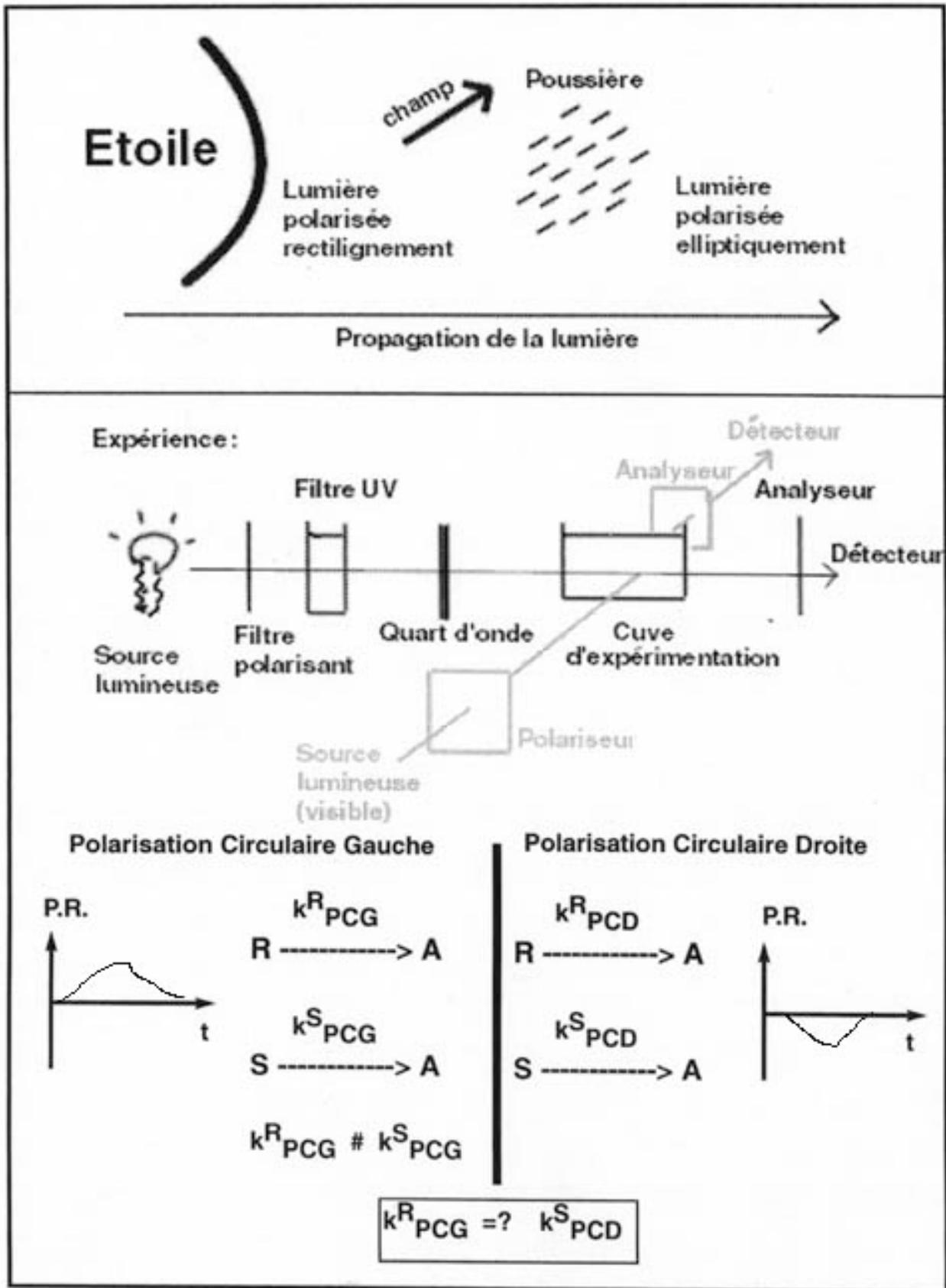
Il (ne) reste donc (plus qu')à expliquer l'homochiralité....

2/ Homochiralité, un indice précieux.

a/ Par hasard...

La première explication que l'on puisse trouver, est que c'est par hasard s'il n'existe aujourd'hui que des A.A. Levogyres. Mais si un acide aminé dextrogyre a été formé quelquepart sur la Terre, il y a de grandes chances que le même acide aminé levogyre ait été créé ailleurs! Il faut donc ensuite amplifier rapidement le déséquilibre d/l. La cristallisation est un bon moyen pour cela: en plongeant un cristal d'une des formes énantiomères dans un mélange où les 2 énantiomères sont en équilibre, toute la solution se cristallise avec la même forme énantiomère.

b/ Lumière polarisée circulaire...



La lumière polarisée circulairement peut favoriser la formation d'un composé lévogyre devant le composé dextrogyre.

L'astronomie vient à notre secours.

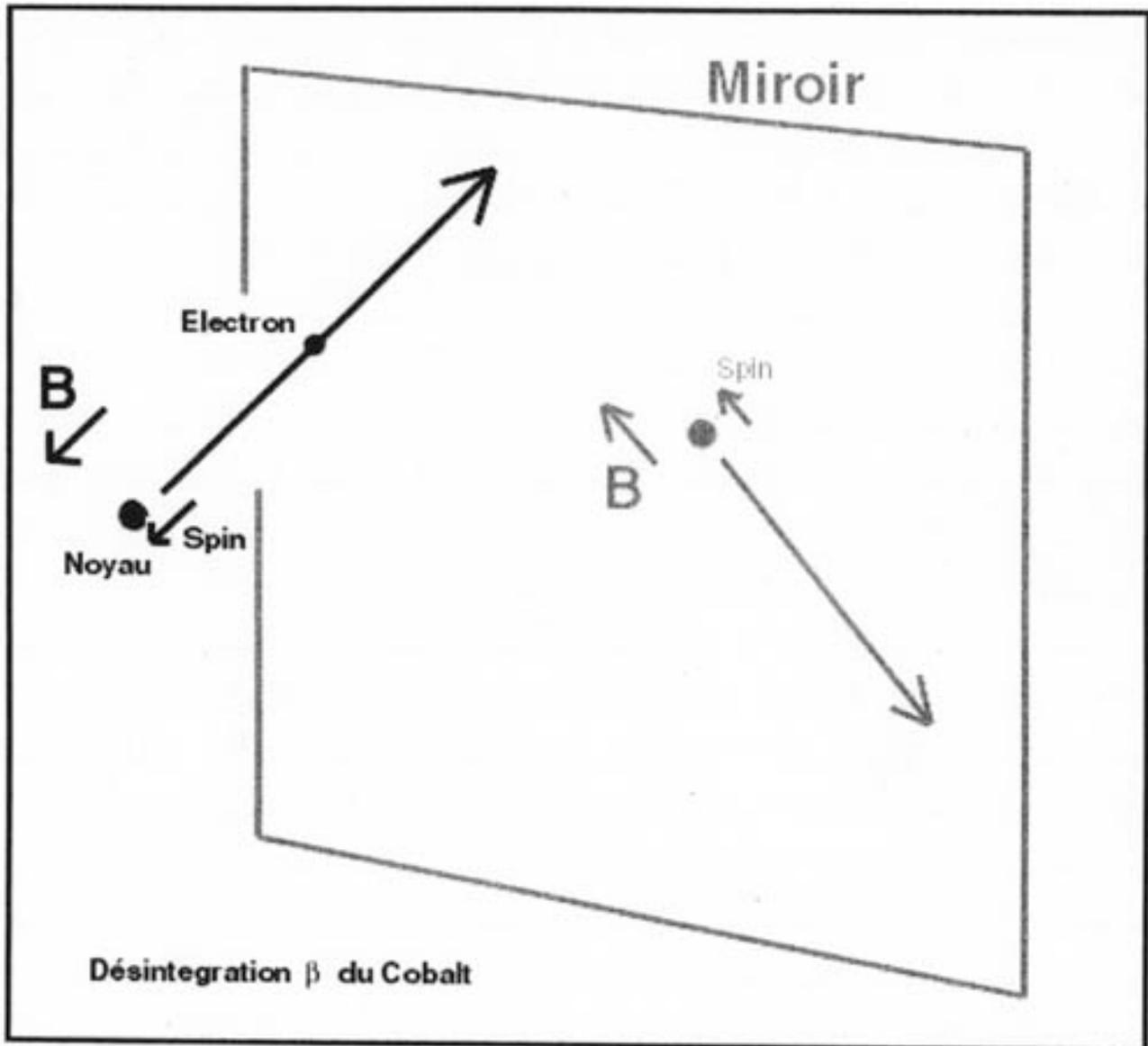
La nébuleuse d'Orion produit de la lumière polarisée circulaire à 17% dans l'infra-rouge. L'IR n'a pas assez d'énergie pour casser des liaisons covalentes, mais on peut supposer que les UV sont également polarisés circulairement (figure 3b de production de lumière PC).

La nébuleuse a donc ainsi inondé un coin de l'espace de sa lumière polarisée. Mais elle est trop lointaine pour avoir influencé les réactions chimiques sur la Terre. Toutefois, si cette hypothèse s'avérait être exacte, alors dans d'autres systèmes solaires plus éloignés d'Orion, on n'aurait pas forcément la même forme énantiomère des acides aminés.

Les acides aminés ont très bien pu se former dans l'espace, près d'Orion ou d'une autre étoile avec une géométrie chirale. C'est ce que nous apprend l'étude des météorites.

On a retrouvé sur la météorite de Murchinson découverte en 1970, 70 acides aminés différents dont 3 seulement font partie des 20 acides aminés naturels. De plus ces acides aminés sont dans des proportions non racémiques (le pourcentage est cependant beaucoup discuté, dû à d'éventuelles contaminations, et varie entre 50% et -5% suivant les équipes de recherche pour l'excès de la forme L).

c/ Et si tout l'univers était asymétrique?

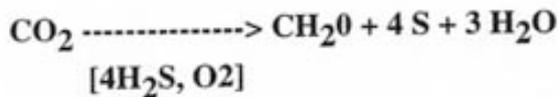
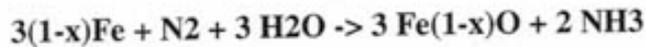
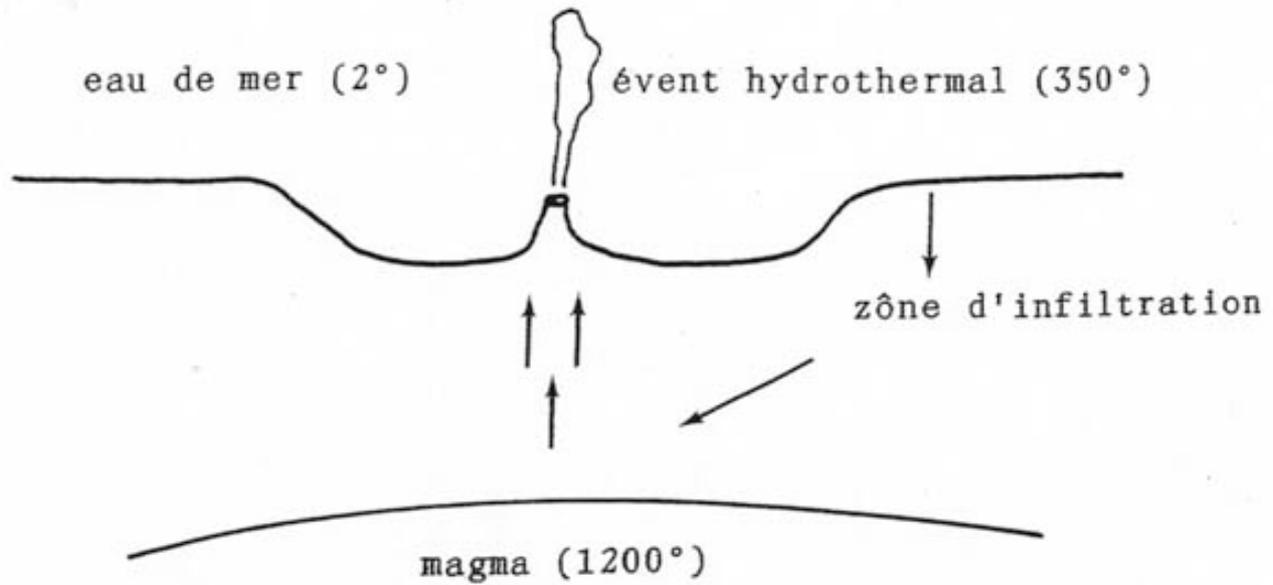


Il a été découvert que la matière est intrinsèquement asymétrique, ce qui n'est plus étonnant après la découverte de la brisure de la symétrie matière-antimatière. Lorsque l'on place des atomes de cobalt dans une géométrie asymétrique, c'est-à-dire dans un champ magnétique, les électrons produits de la désintégration de neutron se déplacent toujours dans la direction opposée à leur spin (aligné sur le champ). Les électrons sont donc intrinsèquement gauches. Cette expérience de Tsung Dao Lee et Chen Ning Yang qui recurent le prix Nobel en 1957 peut être reproduite avec n'importe quel atome. Un gaz de vapeur de césium par exemple dans un champ électrique a un pouvoir rotatoire. C'est ce sur quoi a travaillé Marie-Anne Bouchiat, directeur rech. CNRS à l'ENS ;-). Ce phénomène est facilement observable sur les atomes lourds car la force mise en jeu est la force d'interaction faible entre le noyau et l'électron proportionnelle à Z^3 .

Ainsi il a été calculé que les acides aminés naturels sont thermodynamiquement plus stables que leur image dans un miroir.

3/ Autre forme de vie primitive ?

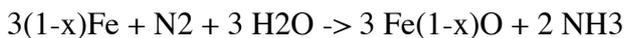
a/ Sources hydrothermales: le monde du Soufre



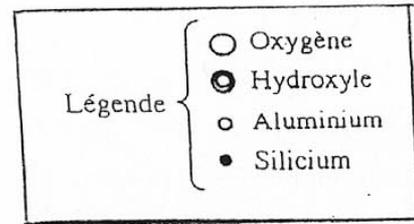
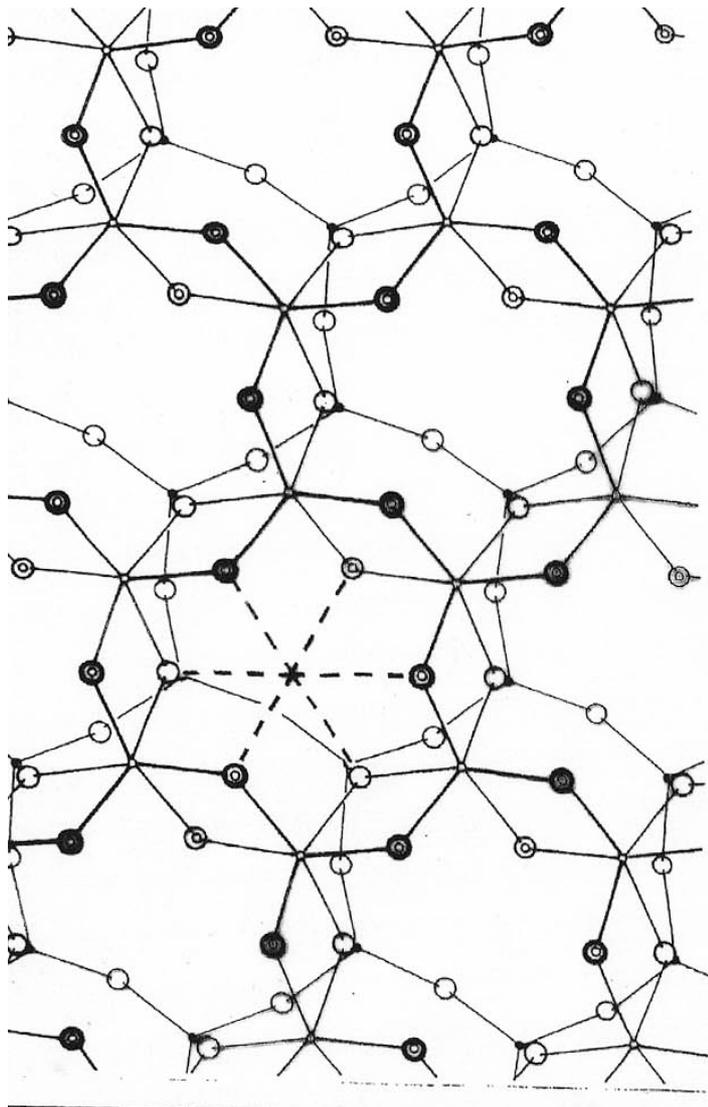
Les sources hydrothermales ont été découvertes en 1977 à 2600 mètres de profondeur, là où deux plaques tectoniques se séparent. Ces sources sont particulièrement intéressantes car on y a trouvé de la vie où l'on croyait la vie impossible: sans oxygène, à haute température, sans lumière. Cependant les gradients de température importants autour de ces zones et le fait que les UV destructeurs ne parviennent pas si profondément (alors qu'ils détruisent toute molécule formée à la surface) sont de bonnes conditions pour l'apparition de la vie.

Ces organismes ont les mêmes briques que ceux que l'on connaît plus près de la surface (ADN, Protéines, Sucres...) mais puisent leur énergie de l'oxydation de H₂S pour transformer le carbone minéral en organique.

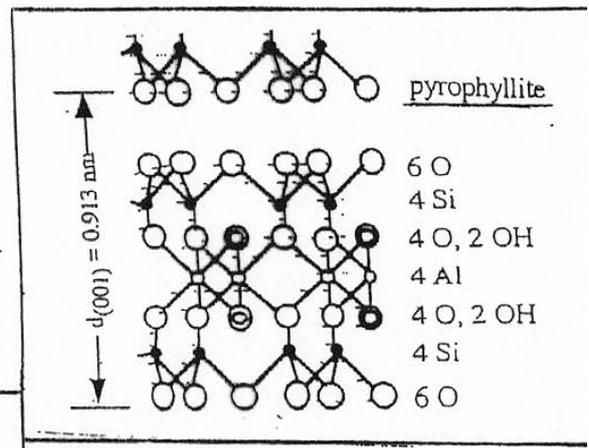
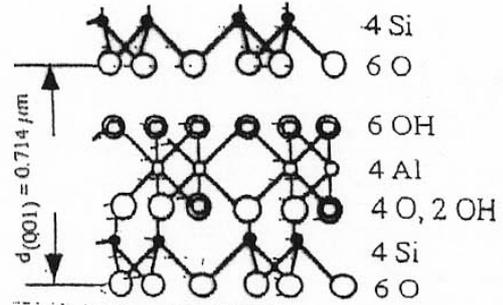
D'autre part, des expériences ont été menées au laboratoire de géophysique de Washington et ont montré que dans les conditions qui existent autour des événements, il y a formation de NH₃, forme réduite de l'azote qui est tant nécessaire à la formation des molécules organiques de la 1ère partie et qui n'existait pas dans l'atmosphère oxydante. Les sources hydrothermales sont donc de convenables sources de NH₃.



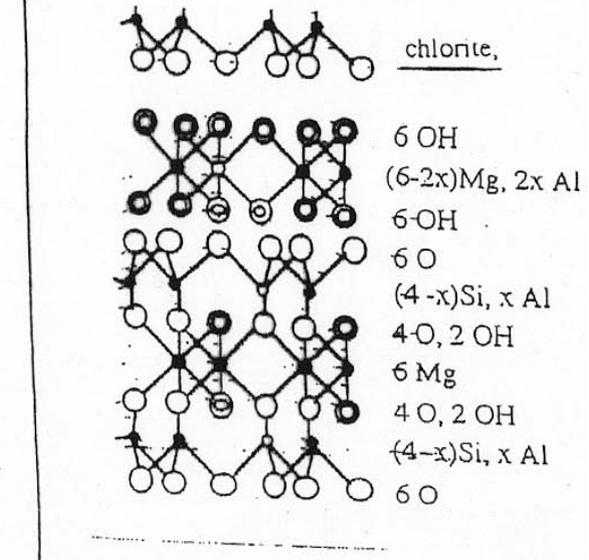
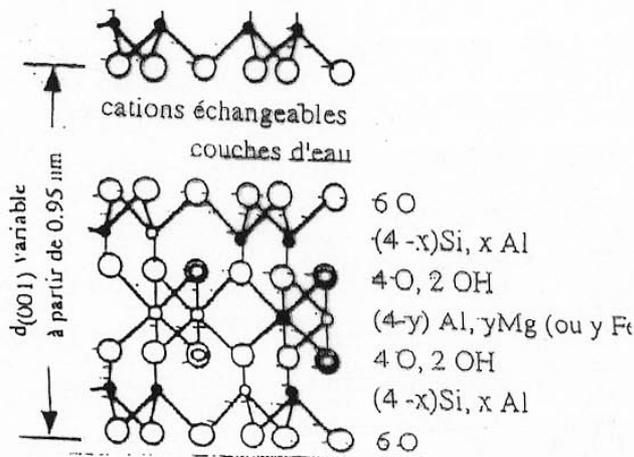
b/ Une vie minérale (argile)



kaolinite.



montmorillonite



La vie n'a pas nécessairement besoin d'ADN, de protéines, de sucre pour exister. Ces molécules semblent en effet trop complexes pour s'être formées spontanément et ensuite s'animer toutes

ensembles. Une autre approche de l'apparition de la vie est née ces dernières années: la recherche du système vivant le plus simple.

Pour avoir vie, il faut avoir un organisme qui puise son énergie dans le milieu extérieur, qui puisse se reproduire mais imparfaitement pour laisser place à une évolution possible. En fait chaque chercheur a sa propre définition de la vie.

Suivant ces critères généraux, une vie minérale aurait pu exister avant (et peut être même existe encore) l'apparition de la vie organique. Les cristaux grandissent en effet facilement et avec des défauts. L'argile a de nombreuses propriétés et se trouve très abondamment sur Terre. Entre les différentes couches de l'argile peuvent se glisser de petites molécules organiques; ainsi petit à petit la vie organique pourrait apparaître à partir de la vie cristalline. L'argile est un merveilleux catalyseur pour de nombreuses réactions organiques, et a donc ainsi pu former les acides aminés.

c/ A la recherche de l'organisme vivant le plus simple: le monde des archéa.

Quelle que soit la façon de construire les premières grosses molécules organiques, il reste beaucoup de chemin à parcourir pour construire la première cellule. Les archéa découverts récemment car 10 fois plus petits qu'une bactérie sont d'après le séquençage de leur ADN plus proches du premier organisme vivant organique. De plus, on en trouve sur la Terre qui vivent dans les conditions les plus inattendues, ce qui prouve leurs diversités et leur capacités d'adaptation phénoménales (à plus de 100°C près des événements, dans des eaux très acides ou très salées).

Aujourd'hui on cherche encore à mieux comprendre ces archéa. En particulier, une équipe de chercheur tente de supprimer le maximum d'information enregistrée sur leur ADN afin de conserver un organisme vivant "minimal" pour comprendre ce qui "anime" ces organismes les plus simples.

Conclusion

L'approche multidisciplinaire que nous avons menée montre que le problème est de mieux en mieux cerné mais que le mystère demeure ...

La découverte de nouvelles formes de vie qui restent encore à découvrir sur la Terre et sur d'autres planètes aidera les scientifiques à comprendre l'origine de la vie. Pour cela Mars et Vénus devraient être explorées dans l'espoir d'y trouver des indices qui expliqueraient l'origine de la vie.

Le chemin parcouru pour résoudre l'énigme de la vie est riche en enseignement pour bien des domaines tels que la recherche pour la création d'ordinateurs moléculaires.

Bibliographie

Naissance de la chimie prébiotique et généralités

R. Shapiro, *L'origine de la vie*. Champs Flammarion, 1994.

A. Brack et F. Raulin, *L'évolution chimique et les origines de la vie*. Masson, 1991.

F. Raulin, *L'apparition du vivant*. Presses Pocket, 1991.

F. Raulin, *La vie dans le cosmos*. Dominos Flammarion, 1994.

Approche thermodynamique

Nouvelle encyclopédie des sciences et des techniques, *Aux origines de la vie*. Fayard.

Homochiralité

Murchinson

J. L. Bada, D. P. Glavin, G. D. McDonald et L. Becker, *A search for Endogenous Amino Acids in Martian Meteorite ALH84001*. Science Mag, 279 (5349) 362.

M. H. Engel et S. A. Macko, *Isotopic evidence for extraterrestrial non-racemic amino acids in the Murchinson meteorite*. Nature, n° 389, p. 265 - 268, 1997.

J. L. Bada, *Extraterrestrial handedness*. Science Mag, 275 (530)2 942, 1997.

J. R. Cronin et S. Pizzarello, *Enantiomeric Excesses in Meteoritic Amino Acids*. Science Mag, 275(5302)951, 1997.

Orion

R. Irion, *Did twisty Starlight Set Stage for Life ?*. Science, 281 5377 626.

A. Chrysostomou, F. Ménard, T. M. Gledhill, S. Clark, J. H. Hough, A. McCall et M. Tamura, *Polarimetry of Young Stellar objects II: Circular polarization of GSS30*, Science Mag.

Jun-Ichi Morino, *Reflected infrared spectrum of a massive protostar in Orion*, Nature, n° 393, p. 340, 1998.

Lumière polarisée

Expérience

A. Chrysostomou, F. Ménard, T. M. Gledhill, S. Clark, J. H. Hough, A. McCall et M. Tamura, *Circular Polarization in Star Formation Regions: Implications for Biomolecular Homochirality*. Science Mag, 281(5377)672, 1998.

G. Balavoine, A. Moradpour et H. B. Kagan. *Journal of the American Chemical Society*, 96,5152, 1974.

N. P. M. Huck, W. F. Jager, B. de Lange et B. L. Feringa, *Dynamic control and amplification of molecular chirality by circular polarized light*. Science Mag, 273 (5282) 1686, 1996.

W. Kuhn et E. Knopf, *Darstellung optisch aktiver Stoffe mit Hilfe von Licht*. Chemischen Institut der Universität Heidelberg, p. 292 - 310.

Symetrie intrinsèque de la matière

R. Adair, *Un défaut dans le miroir du monde*. Pour la Science, HS Juillet, 1998.

M. A. Bouchiat et L. Pottier, *Une préférence des atomes entre la gauche et la droite*. Pour la Science, HS Juillet, 1998.

Autres formes de vie primitive

Conférence au Palais de la Decouverte par Paul Caro, *Hypothèses récentes sur l'origine de la vie sur terre*. 13/03/99.

C. De Duve, *La naissance des cellules complexes*. Pour la science, HS Avril, 1998.

Sources hydrothermales

R. F. Service, *A Biomolecule Building Block From Vents*. Science Mag, 281 (5385) 1936, 1998.

Monde d'argile

A. G. Cains-Smith, *L'enigme de la vie, une enquête scientifique*. Editions Odile Jacob, 1990.

Archea

www.ucmp.berkeley.edu/archea