

Astrochimie, chimie des origines ?

Louis d'Hendecourt

Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay



L'astrochimie à l'origine de la vie ?

Depuis de nombreuses années, des molécules sont observées dans le milieu interstellaire, particulièrement dans les régions de formation des étoiles comme le montre la Figure 1, là où se forment aussi et en même temps les planètes. Ces molécules sont dites *organiques* c'est-à-dire qu'elles sont constituées, pour l'essentiel d'assemblages d'atomes de carbone, d'oxygène, d'azote, de soufre et d'hydrogène.



© nasa

Figure 1 : Nuage moléculaire.

Ces objets sont de gigantesques nuages interstellaires où sont détectées de très nombreuses molécules, en grande majorité, organiques.

L'effondrement de ces nuages sous l'action de leur propre gravité va former les étoiles, les planètes et divers débris dont les comètes et les astéroïdes.

De fait, les molécules du *vivant*, celles qui nous constituent, sont formées des mêmes atomes et, en partie, des mêmes assemblages d'atomes. La découverte de molécules semblables à celles de la vie, par exemple les acides aminés qui composent les protéines de l'ensemble des êtres vivants, dans les météorites trouvées sur la Terre (Figure 2), suggère que la chimie extraterrestre a pu effectivement jouer un rôle important sinon déterminant pour l'origine de la vie sur notre planète.

© MHNP



Figure 2 :
La météorite dite de Paris a été récemment acquise par le Muséum d'Histoire Naturelle à Paris. Elle pèse environ 1,2 kg. C'est une météorite très carbonée et très primitive dont le contenu moléculaire organique est d'une très grande richesse.

Plus important, la détection récente et sans cesse renouvelée de très nombreuses exoplanètes (des planètes orbitant autour d'étoiles autres que notre Soleil), et l'universalité des phénomènes mis en jeu, suggère que de très nombreuses autres planètes ont pu connaître la même évolution. Ensemencées par la chimie extraterrestre, ces planètes auraient alors pu, elles aussi, démarrer sur leur sol une vie ressemblant plus ou moins à la nôtre. L'étude de l'astrochimie, une branche de l'astrophysique, y compris par l'expérimentation en laboratoire peut donc tout naturellement mener à l'étude scientifique de l'origine de la vie.

L'approche du laboratoire

Lors de la formation du Système Solaire et de ses planètes, on observe la formation de très abondantes quantités de glace, contenant des molécules simples, de l'eau, de l'alcool, de l'ammoniac et du gaz carbonique principalement qui se forment dans des régions très froides, loin du Soleil. Ces glaces sont d'ailleurs retrouvées dans les comètes qui se rapprochent de temps en temps du Soleil en s'évaporant, donnant des images spectaculaires de ce phénomène comme le montre la Figure3.

Figure 3 : Comète de Hale-Bopp.
Cette comète très brillante a été observée
par le satellite européen ISO en 1996.
En s'approchant du soleil, la glace piégée
dans la comète s'évapore en libérant des
poussières diffusant la lumière solaire
et très visibles de ce fait.

Ces poussières vont devenir
des micrométéorites et apporter
à la surface de la Terre
toute la chimie organique de la comète



Bien entendu, en s'évaporant, la glace des comètes emmène avec elle
des poussières connues sous le nom de micrométéorites qui contiennent,
comme les météorites, des molécules organiques en grand nombre. Ces
micrométéorites sont elles aussi récupérées en laboratoire (Figure 4) pour
être analysées, confortant ainsi l'hypothèse initiale, celle de la rencontre
entre la chimie interstellaire, la chimie à la surface de la Terre et peut-
être, l'origine de la vie.

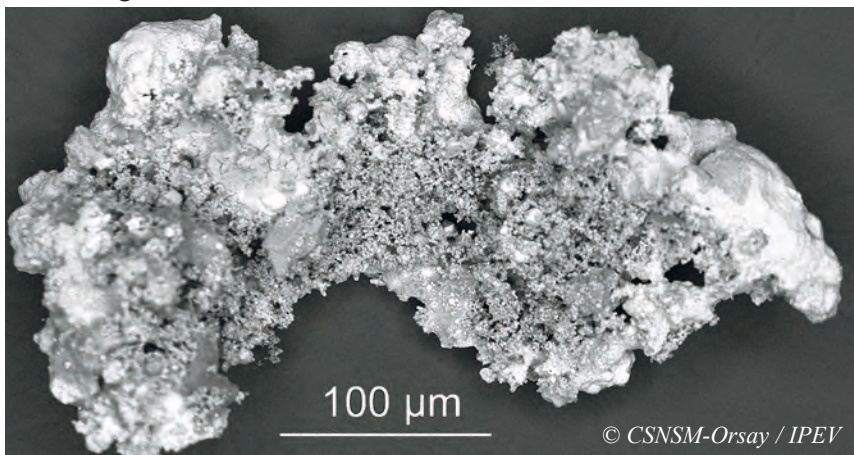


Figure 4 : Micrométéorite antarctique.
Cette micrométéorite (et beaucoup d'autres) a été récupérée
par une équipe française lors d'expéditions dans l'Antarctique.
Les nombreuses analyses effectuées sur ce type d'objets permettent de comprendre
leur composition chimique et leur apport en eau et molécules organiques
à la surface de planètes telluriques comme la Terre.

En laboratoire, le phénomène de la production de glaces peut être assez facilement reproduit. L'observation des glaces formées est comparée aux observations astronomiques qui permettent donc, par la simulation en laboratoire, de reproduire la chimie associée à ces glaces.

Cette simulation est couramment effectuée à l'Institut d'Astrophysique Spatiale à Orsay. Les molécules initialement dans le gaz, sont déposées sous forme de pellicule de glace à très basse température et irradiées, comme le montre la Figure 5 par une lampe à plasma produisant un puissant rayonnement qui ressemble à celui d'une étoile dans l'environnement naturel de la formation du système planétaire.

A la fin de l'expérience, l'échantillon est réchauffé à la température normale (celle du laboratoire). La glace s'évapore mais une partie de cette glace se retrouve transformée en matière organique qui est ensuite analysée par des techniques de chimie analytique très sensibles.

Surprise ! Les molécules alors détectées dans ces résidus organiques contiennent de très nombreux acides aminés. Ces acides aminés se retrouvent également dans les météorites et sont considérées comme des briques essentielles de la matière vivante.

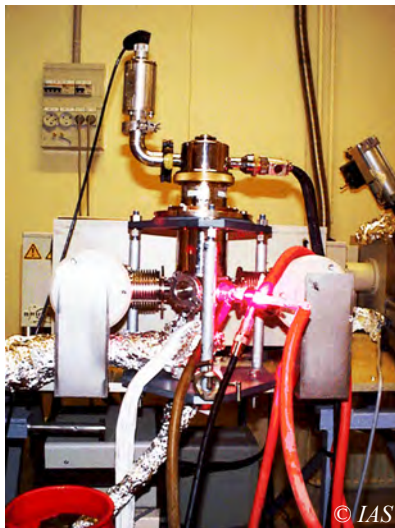


Figure 5 :
Expérience de simulation de glaces cométaires en laboratoire, à l'Institut d'Astrophysique Spatiale à Orsay. Le cryostat vertical est refroidi par un apport d'hélium liquide permettant une très basse température. Le mélange moléculaire gazeux, choisi selon l'application astrophysique désirée, est injecté et forme un film de glace observé par spectroscopie infrarouge. La lampe à plasma bien visible, permet l'irradiation ultraviolette de l'échantillon de glace qui va ensuite évoluer vers une matière organique complexe. Celle-ci sera ensuite comparée avec la composition des météorites.

Expériences de laboratoire : peut-on aller plus loin ?

Ces expériences, permettant de reproduire des analogues de glaces interstellaires ainsi que leur évolution, sont relativement simples à mettre en place. L'analyse de la matière organique est nettement plus difficile. Le résidu organique est soluble dans l'eau ce qui est très important pour tenter de suivre l'évolution chimique de ce matériau vers des molé-

cules de plus en plus longues et complexes, des molécules qui pourraient commencer à ressembler à des protéines.

Cependant, deux problèmes majeurs se posent aux chercheurs. Tout d'abord, plus une molécule est complexe, plus elle devient difficile à analyser et donc il est pour l'instant encore impossible de vérifier l'hypothèse de départ. C'est un axe de travail majeur dans la discipline de l'astrochimie. La première chose à vérifier est de contrôler que la composition chimique du résidu organique de laboratoire est bien similaire à celle de la composition organique des météorites et des micrométéorites. Ce résultat est à la portée des chercheurs et fait l'objet d'une activité intense dans plusieurs laboratoires, tant en France qu'à l'étranger. La validation de l'hypothèse initiale présentée ci-dessus est en effet la réalité de notre travail scientifique.

Le deuxième problème est bien plus complexe à résoudre, voire même à aborder sur un plan fondamental. En effet, plus une molécule organique est grande, moins elle est stable. Dans l'eau, absolument nécessaire pour mettre en contact les *briques* du vivant afin de former un mur, on constate que les murs se détruisent à leur tour très vite pour revenir rapidement à la brique de base. Ce problème est connu depuis longtemps en thermodynamique, une branche de la physique qui étudie, entre autres, l'évolution des molécules complexes dans les systèmes encore non vivants.

Ce problème est en fait très sérieux mais il faut savoir que là aussi, les chercheurs continuent à travailler sur ce sujet en préparant des expériences en laboratoire qui vont aller bien au-delà de celles décrites dans ce court article.

La vie dans l'Univers

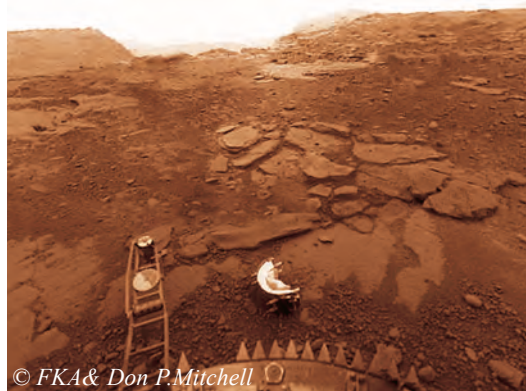
Si l'on s'intéresse au problème de l'origine de la vie et donc de la possibilité d'avoir de la vie sur d'autres planètes, une question aussi ancienne que la civilisation humaine, il convient cependant de bien réaliser qu'aucune autre forme de vie n'a pour l'instant été observée en dehors de notre écosphère terrestre. Sur un plan scientifique cela signifie que l'on ne peut travailler que dans le contexte de notre vie terrestre.

Notre planète Terre et surtout ses conditions initiales (température, ensoleillement, présence d'eau liquide) sont de mieux en mieux connues par l'étude des météorites qui sont tombées sur la Terre primitive il y a environ 4 milliards d'années. On peut donc, dans le cadre terrestre et en se concentrant sur la vie terrestre, sérieusement envisager une approche expérimentale et scientifique qui permette de passer de l'inanimé au vivant, même si le but est encore très loin de nos possibilités expérimentales. Par contre, il faut aussi bien comprendre que toute l'écosphère primitive de la Terre a été très fortement sensible à la précision des condi-

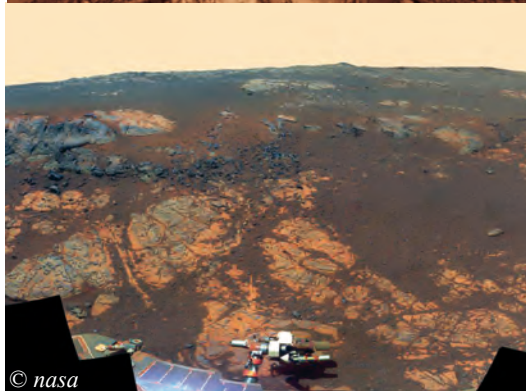
tions initiales qui ont déterminé ce que la Terre est devenue. La présence de vie en dehors de la Terre n'est donc, pour l'instant, aucunement garantie et n'est de plus pas directement quantifiable car trop d'inconnues sont encore présentes dans notre réflexion. Un exemple frappant de ce fait est donné par les trois planètes sœurs que sont la Terre, Vénus et Mars.



© Ile de La Réunion



© FKA & Don P. Mitchell



© nasa

Figure 6 :

Le sol des trois planètes telluriques (solides) dans le Système Solaire.

Sur la Terre, la température moyenne est de l'ordre de 10°C et l'atmosphère dense permet de maintenir la présence d'eau liquide et des océans.

Sur Vénus, la température de surface est de l'ordre de 460°C , due à l'énorme densité de l'atmosphère composée de dioxyde de carbone entraînant un effet de serre très important, responsable de cette température.

Sur Mars, l'atmosphère, toujours du dioxyde de carbone en grande majorité est très ténue (1/100 de celle de la Terre) et ne permet pas un effet de serre suffisant pour réchauffer la planète qui est glaciale. Par ailleurs, l'eau liquide, probablement présente sous forme d'un océan au tout début de la planète a disparu assez rapidement pour des raisons mal comprises.

Ces trois planètes se sont formées en même temps, à partir des mêmes matériaux cosmiques. Seule la Terre a permis le développement de la vie comme le montrent, Figure 6, les trois célèbres photos prises à la surface de ces planètes.

Conclusion

Tout comme la cosmologie explore les premiers instants de notre Univers, l'astrochimie et la cosmochimie (la chimie des météorites) explorent l'origine de notre Système Solaire, de notre planète, avec en vue la possibilité d'apporter une explication scientifique au passage de cette chimie extraterrestre à la chimie de l'environnement de la Terre primitive. Ce but, probablement à court et moyen terme, puis dans un futur plus lointain, devrait permettre de comprendre la transition de l'inerte au vivant. La plupart des concepts sur l'origine du monde ont été formulés dans l'Antiquité sans aucune possibilité de vérification expérimentale, ni même de stricte démarche scientifique. Il faut attendre la Renaissance au XVI^e siècle, pour qu'une vraie démarche scientifique ouvre la voie à la science moderne.

Au XXI^e siècle, nous possédons maintenant des outils d'investigation, d'expérimentation et de diagnostics qui doivent permettre de nous poser sérieusement la question de nos origines et celle de la place de l'Homme dans cet Univers dont l'évolution cosmique semble avoir déterminé notre propre existence.

L.d'H.

Références pour en savoir plus :

<http://www.exobiologie.fr/>

le site de la Société Française d'Exobiologie, un site facile d'accès à tous qui fait le point sur l'ensemble de la discipline Astrobiologie/Exobiologie.

Le site est bien maintenu et quantité d'informations peuvent y être trouvées.

Livre récent de lecture plus difficile : *De l'inerte au vivant. Une enquête scientifique et philosophique*, Patrick Forterre, Louis d'Hendecourt, Christophe Malaterre, Marie-Christine Maurel, 2013, éditions « La Ville Brûle », ISBN 978-2-36012-0-30-7