

**Centre de Biophysique Moléculaire  
Centre National d'Etudes Spatiales  
Centre National de la Recherche Scientifique  
Institut National des Sciences de l'Univers  
Université Paris 12**

# **COLLOQUE NATIONAL D'EXOBILOGIE**



**Orléans du 22 mai au 24 mai 2006**

**Amphithéâtre Charles Sadron**

# Colloque National d'Exobiologie

## Orléans, 22-24 Mai 2006

### PROGRAMME

#### Lundi 22/5

- 10h00 – 13h15 Inscription et installation des posters
- 13h15 – 14h15 Repas
- 14h15 - 14h30 Messages de bienvenue de Monsieur Jean-Claude BELOEIL, Directeur du Centre de Biophysique Moléculaire et de Madame Elisabeth VERGES, Directrice de la Fédération des Sciences de la Terre et de l'Univers de la Région Centre
- 14h30 – 16h00 Introduction, bilan des activités, présentation générale des 4 thèmes, et présentation synthétique des posters.  
Coordinateur : François RAULIN (LISA, Univ. Paris12, Créteil), avec les coordinateurs des 4 thèmes
- 16h00 – 16h30 Pause café
- 16h30 – 17h30 Posters 1ère partie / discussion autour des posters
- 17h30 – 18h30 Posters 2<sup>ème</sup> partie / discussion autour des posters
- 18h30 – « get-together »

#### Mardi 23/5 (matin)

**9h00 – 10h30**      **Thème I - *Les ingrédients de la vie primitive dans leur contexte géologique, planétaire et interstellaire***

Coordinateurs : Louis D'HENDECOURT (IAS, Orsay) & Cécile ENGRAND (CSNSM, Orsay)

- 9h00 – 9h30 Louis D'HENDECOURT (IAS, Orsay) - chimie du milieu interstellaire
- 9h30 – 10h00 Michel MAURETTE (CSNSM, Orsay) - Rôle des apports extraterrestres dans la chimie prébiotique
- 10h00 – 10h45 Discussion
- 10h45 – 11h15 Pause

**11h15 – 13h00**      **Thème II - *De la chimie des origines de la vie à l'émergence du vivant – Structures et fonctions des molécules biologiques***

Coordinateurs : Marie-Christine MAUREL (IJM, Paris) & Jean-Claude GUILLEMIN (ENSCR, Rennes)

- 11h15 – 11h30 Robert PASCAL (Univ. Montpellier) - Des premiers peptides à l'émergence de la machinerie de traduction
- 11h30 – 11h45 James TABONY (CEA, Grenoble) – Origine de l'auto-organisation biologique

- 11h45 – 12h00 Marie-Christine MAUREL - Monde ARN, monde Soufré et membranes)
- 12h00 – 12h15 Jean-Claude GUILLEMIN (ENSCR, Rennes)
- 12h15 – 13h00 Discussion
- 13h15 – 14h15 Déjeuner

### **Mardi 23/5 (après-midi)**

#### **14h15 – 16h00 Thème III - *La vie terrestre comme référence: fossiles, biomarqueurs, milieux extrêmes***

Coordinateurs : Purification LOPEZ-GARCIA (Univ. Paris 11, Orsay) & Patrick FORTERRE (Univ. Paris 11, Orsay)

- 14h15 - 14h35 Mark VAN ZUILEN (CRPG, Nançy – Evolution récente des connaissances sur les biomarqueurs et traces fossiles anciennes – Avenir de ce domaine
- 14h35 – 14h55 François GUYOT (Université Paris 6) - Evolution et futur des méthodes de détection des microorganismes et leurs signatures dans le milieu minéral, fossilisation)
- 14h55 – 15h15 Patrick FORTERRE (Univ. Paris 11, Orsay) - Milieux extrêmes - Origines de la vie – Evolution)
- 15h15 – 16h00 Discussion
- 16h00 – 16h30 Pause

#### **16h30 – 18h15 Thème IV - *Habitats et signatures de vies extraterrestres***

Coordinateurs : Alain LEGER (IAS, Orsay) & Didier DESPOIS (Obs. Bordeaux)

- 16h30 - 16h45 Francois POULET (IAS, Orsay) - Recherche de la vie sur Mars
- 16h45 – 17h00 Daniel PRIEUR (IUEM, Univ. Brest) – Recherche de la vie dans les satellites glacés, tout particulièrement Europe
- 17h00 – 17h15 Marc OLLIVIER (IAS, Orsay) - "feuille de route" de la recherche de vie hors du système solaire
- 17h15 – 17h30 Franck SELSIS (ENS, Lyon) - Biosignatures spectrales
- 17h30 – 18h15 Discussion

### **Mercredi 24/5**

#### **9h00 – 12h00 Synthèse – Prospective**

Coordinateurs: Frances WESTALL (CBM, Orléans), Hervé COTTIN (LISA, Univ. Paris12), Daniel PRIEUR (IUEM, Univ. Brest), André BRACK (CBM, Orléans) & François RAULIN (LISA, Univ. Paris12) et avec la participation de représentants du CNRS, de l'INSU et du CNES

- 12h00 -13h00 Conclusions du Colloque

# **Communications**

## **LA CHIMIE INTERSTELLAIRE.**

Louis D'HENDECOURT

Institut d'Astrophysique Spatiale, UMR8617, Orsay-Campus

La chimie interstellaire, détectée en radioastronomie depuis les années 70 sert de traceurs pour les conditions physiques et chimiques du Milieu Interstellaire. Depuis les années 1990, l'avènement du satellite européen de spectroscopie infrarouge ISO a permis de montrer qu'une fraction importante des molécules complexes ou non se retrouve sous forme de glaces "sales" que l'on pense être analogues aux glaces cométaires. Des simulations en laboratoire permettent de mieux caractériser ces glaces et leur possible évolution vers un matériau organique qui reste cependant encore à découvrir, tant au niveau astrophysique que pour sa possible influence à l'apport sur les planètes telluriques de matériaux prébiotiques. Cette présentation fera le point sur les récentes avancées dans la connaissance phase solide de la chimie interstellaire.

# ROLE DES APPORTS EXTRATERRESTRES DANS LA CHIMIE PREBIOTIQUE

Michel MAURETTE

CSNSM, Bâtiment 104, 91405 Orsay-Campus

**Introduction.** L'impact du dernier embryon planétaire de taille martienne avec la proto-Terre a simultanément: — clos l'intervalle de formation de la Terre vers 4,4 Ga; — engendré la Lune; — soufflé dans l'espace les espèces volatiles qui constituaient l'atmosphère pré-lunaire. Il créa ainsi une niche vacante pour la formation d'une nouvelle atmosphère post-lunaire. Comme la Terre avait été dégazée, un apport extraterrestre de matériau hydraté-carboné fût nécessaire pour remplir cette niche, et déclencher une chimie prébiotique.

**L'apport contemporain.** Actuellement, seuls les astéroïdes et les comètes par leurs impacts cataclysmiques directs, ou par capture de leurs débris interplanétaires (météorites et micrométéorites), alimentent cet apport. On peut montrer que les micrométéorites (MMs) de tailles comprises entre 50-300  $\mu\text{m}$  délivrent 100 fois plus de matière que tous les autres corps de tailles comprises entre  $\sim 1\mu\text{m}$  et quelques dizaines mètres. Si on étend cette comparaison aux corps de 10 km, les MMs délivreraient encore  $\sim 90\%$  de la matière extraterrestre. L'une de leurs caractéristiques essentielles est que 95% d'entre elles sont reliées aux chondrites hydratées-carbonées (HCCs) de type CM, qui sont rares.

**L'apport Hadéan, avant  $\sim 4$  Ga.** A cette époque reculée un disque de débris entourait le soleil. Il persista probablement jusque vers 3,5 Ga. On présume qu'il était alimenté par des collisions de comètes. Il est facile de montrer que la composition du flux de micrométéorites a été invariante dans le temps, et qu'elle est donnée par celle des micrométéorites collectées en Antarctique (AMMs). En particulier, le rapport D/H des océans (il est similaire à celui des AMMs) et l'analyse préliminaire des particules prélevées dans le coma de la comète Wild 2 par Stardust, confortent beaucoup cette hypothèse. Mais il est difficile d'évaluer la masse totale des MMs accrétées par la Terre pendant cette période de bombardement intense. Nous obtenons une valeur ( $\sim 5 \times 10^{24}$  g) deux fois plus grande que la masse actuelle de la ceinture d'astéroïdes. A partir de cette valeur, une formule d'accrétion simple prédit les bonnes quantités d'espèces volatiles (Ne,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ ) dans l'atmosphère à partir de leurs concentrations dans les MMs, qui peuvent différer d'un facteur de  $\sim 10^7$ .

**Une foison de réactions chimiques.** Ce flux intense de micrométéorites juvéniles a probablement induit une diversité surprenante de réactions en chimie prébiotique, pendant au moins les 200 premiers millions d'années de l'époque post-lunaire. L'eau de constitution des silicates hydratés des MMs fournira l'eau des océans terrestres, dans laquelle leurs espèces volatiles et leurs composés organiques déclencheront inévitablement une chimie prébiotique. Les millions de composants constitutifs de chaque micrométéorite non fondue, qui survit lors de la rentrée atmosphérique, auraient pu déclencher leur fonctionnement en minuscule *réacteur chimique chondritique*.

Ensuite, l'observation des averses d'étoiles filantes des Léonides (entre 1998 et 2002) a suggéré des schémas réactionnels supplémentaires, qui auraient pu être induits par: — *Un volcanisme micrométéoritique diffus* déclenché par les MMs volatilisées ou fondues, et qui forma une sorte de gigantesque cocon réactif permanent de  $\sim 50$  km d'épaisseur dans la thermosphère; — *Les traînées "persistantes"* des plus grosses MMs, qui se superposaient dans la stratosphère pour donner une chimie des phénomènes luminescents; — *Les sources hydrothermales post-lunaires*, qui seraient restées stériles si elles n'avaient pas été alimentées par ce volcanisme diffus non seulement en  $\text{H}_2\text{O}$ , mais aussi en  $\text{H}_2$  (produit par dissociation de l'eau),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  et  $\text{H}_2\text{S}$ ; — *Le kérogène piégé dans les micrométéorites non fondues déposées sur la croûte océanique*. Il s'enterra à la manière des cadavres de plancton contemporain, dont la matière organique est transformée en kérogène à une profondeur de quelques centaines de mètres. A plus grande profondeur, définissant "la fenêtre à huile", tout kérogène peut-être transformé lors d'une catagénèse appropriée en pétrole brut, contenant d'innombrables espèces réactives. Sous l'effet de fracturations induites par des impacts beaucoup plus fréquents, un pétrole abiotique d'origine micrométéoritique aurait pu s'étaler en méga-films "d'huile-mouillée" à la surface des océans primitifs, formant de gigantesques marées noires et réactives, qui en plus, auraient piégés les énormes flux résiduels de réacteurs micrométéoritiques non fondus.

# DES PREMIERS PEPTIDES A L'EMERGENCE DE LA MACHINERIE DE TRADUCTION

Robert PASCAL

Groupe "Dynamique des Systèmes Biomoléculaires Complexes", UMR 5073 Université  
Montpellier 2 – CNRS, CC 017 Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 5.

La découverte d'une voie primitive possible de formation des acides  $\alpha$ -aminés (expérience de Miller) a constitué l'acte fondateur de l'exobiologie en tant que science expérimentale. Mais la question de déterminer les étapes à franchir entre cette réaction initiale et l'émergence de protéines (polypeptides *codés* ayant une *structure définie*) reste entièrement ouverte. La recherche de voies efficaces de synthèse de peptides aléatoires, de sélection de séquences et d'évolution de ces polymères a fait de nombreux progrès mais reste d'actualité. Elle a cependant été occultée par les succès de l'hypothèse d'un monde à ARN assise sur les progrès de la biologie moléculaire. Mais la vie n'a pu s'affranchir des limites d'un tel monde que par l'émergence des mécanismes de traduction permettant la spécialisation d'un type de macromolécules de structure aussi uniforme que possible dans la conservation et la reproduction de l'information et celle d'un second type dont la structure, définie mais modulable à l'infini, favorise les fonctions de communication et de catalyse. La découverte d'interactions moléculaires précoces entre les deux systèmes en coévolution est donc un objectif majeur pour dépasser la contradiction entre les deux écoles.

# **SELF-ORGANISATION AND HIGHER-LEVEL *EMERGENT* PHENOMENA IN A COMPLEX SYSTEM COMPRISED OF A POPULATION OF MICROTUBULES.**

James TABONY

Commissariat à l'Energie Atomique, Département Réponse et Dynamique Cellulaires,  
Laboratoire d'Immunochimie, INSERM U548, D.S.V, C.E.A. Grenoble, 17 rue des Martyrs,  
38054 Grenoble Cedex 9, France.

At some time during the development of life, an initially homogeneous biochemical soup must have spontaneously self-organised and developed other high-level properties. In a *complex* system, comprised of a population of coupled elements, new collective *emergent* phenomena may arise spontaneously by way of the non-linear dynamics of the system. Self-organisation is a major *emergent* phenomenon, which may under some circumstances lead to more sophisticated behaviour; even extending up to what is known as “swarm” intelligence. Well-known examples are shown by ant, and other social insect, populations in which individuals are coupled together via the chemical pheromone trails that they lay down. Under appropriate conditions, *in vitro* microtubule preparations, a major element of the cellular skeleton, behave in a similar manner. They self-organise by reactive processes in which individual microtubules are coupled together via the chemical trails caused by their own growing and shrinking. Self-organisation is both triggered and modified by the presence, at a critical moment early in the process, of a number of external factors such as gravity, vibrations, magnetic fields and sample geometry. In turn, this can lead to the development of other higher-level *emergent* properties. The overall behaviour provides a demonstration of how a very simple biochemical system, initially comprised of only two reacting species, a protein and a nucleotide, can spontaneously develop high-level properties by virtue of acting as a *complex* system.



## LE MONDE ARN: HYPOTHESES ET RESULTATS RECENTS

Marie-Christine MAUREL

Institut Jacques-Monod- Université Paris 6. Tour 43, 2 place Jussieu 75251 Paris  
maurel@ijm.jussieu.fr

La plupart des théories sur les origines de la vie supposent que les sources de matière organique étaient présentes sur la Terre primitive; sources à partir desquelles les macromolécules douées des propriétés fonctionnelles du vivant (transferts d'informations et catalyses) ont pu s'organiser.

Comprendre les origines de la vie, décrire comment le vivant a pu s'installer sur Terre, nécessite la prise en compte de la notion de pérennité, c'est-à-dire de l'inscription du temps dans la matière. L'évolution darwinienne, selon laquelle la sélection naturelle des populations les mieux adaptées aux changements de l'environnement, leur a permis de se développer sur la Terre, répond à cette exigence.

Des expériences qui s'inscrivent dans le cadre de l'hypothèse du Monde ARN seront présentées. Des populations de molécules d'ARN sont en effet sélectionnées *in vitro* permettant aux mieux adaptées de survivre et d'exprimer leurs propriétés à différentes conditions extrêmes de température, de pression etc.

- Vergne, J., Cognet, J.A.H., Szathmary, E., Maurel, M-C.  
« *In vitro* selection of halo-thermophilic RNA reveals two families of resistant RNA » *Gene*, **2006**, 371, 182-193
- Hervé, G., Tobé, S., Heams, T., Vergne, J. and Maurel, M-C.  
« Hydrostatic and osmotic pressure study of the hairpin ribozyme » *Biochem. Biophys. Acta*, **2006**, 1764, 573-577.
- Maurel, M-C. and Ricard, J.  
« The evolution of catalytic function » *Physics of Life Reviews*, **2006**, 3, 1, 56-64.
- Tobé, S., Heams, T., Vergne J., Hervé, G., and Maurel, M-C.  
« The catalytic mechanism of hairpin ribozyme studied by hydrostatic pressure » *Nucleic Acids research*, **2005**, 33, 8, 2557-2564.

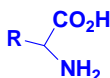
# LES AMINO ACIDES EN EXOBIOLOGIE

Jean-Claude GUILLEMIN

Sciences Chimiques de Rennes, UMR 6226 CNRS-Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes, 35700 Rennes, France.

Jean-claude.guillemin@ensc-rennes.fr

Les aminoacides et les sucres sont communément appelés les « briques du vivant » du fait du rôle primordial qui leur est généralement attribué dans l'apparition de la vie sur la Terre Primitive.



Aminoacide  
R=H: glycine

La détection par spectroscopie de microonde de la glycine dans le milieu interstellaire a récemment été rapportée. De même de nombreux aminoacides ont été détectés dans les météorites soit directement, soit après lavage aqueux. Seulement une partie d'entre eux sont parmi les 20 aminoacides des systèmes vivants terrestres. Pour certains, des excès énantiomériques ont été observés.

De nombreuses questions se posent quant à l'origine de ces aminoacides : quel est (ou quels sont) le(s) précurseur(s) dans le milieu interstellaire ? Sous quelle forme sont-ils dans les météorites et quelle peut être l'origine de l'excès d'un énantiomère ? Quels produits ont-ils donnés par thermolyse lors de leur entrée dans l'atmosphère terrestre ? Comment se sont-ils formés sur la Terre Primitive, sous quelle(s) forme protégée ou non se sont-ils conservés et ont-ils réagi ? ...

L'exposé fera un état des lieux des découvertes récentes et de l'orientation actuelle des recherches dans ce domaine.

# ANCIENT TRACES OF LIFE, CURRENT STATE OF RESEARCH

Mark VAN ZUILEN

Equipe Géobiosphère Actuelle et Primitive, IPG Paris

Approximately a century ago the fossil record, based predominantly on macroscopic morphologic evidence, could only be traced to the beginning of the Cambrian (544 Ma). The record of life therefore comprised only about 12% of the total history of the Earth (4500 Ma). However, the abrupt appearance of complex organisms suggested that more primitive forms of life must have occurred before the Cambrian. Indeed, as more rock formations of Precambrian age were studied, many microfossils and even macrofossils of primitive life forms were found. The understanding of life through time was greatly improved with the development of new types of tracers, or 'biomarkers', which include isotopic, mineralogic and chemical indicators. In addition some indirect geochemical evidence has been used to invoke the presence of life; e.g. the first appearance of oxygenic photosynthesizing bacteria is believed to have preceded the rise of oxygen in the atmosphere at ca. 2300 Ma ago. Due to these new developments, the start of the evolution of life was slowly pushed back in time. Beyond the Proterozoic-Archean boundary at 2500 Ma, however, fundamental changes occur that greatly challenge the search for traces of early life. The Hadean and Archean were dominated by high temperature ultramafic volcanism and chemical sediment deposition (e.g. banded iron formations and cherts). The inferred high geothermal gradient and predominantly anoxic surface conditions must have shaped the nature and habitat of early forms of life. Hydrothermal settings such as are found today at mid-ocean ridges were common, and chemoautotrophic life would have been the most dominant life form on the early Earth. The search for traces of early life should therefore be directed to those specific environments (hydrothermal vents, subaerial hot spring deposits, chilled margins of pillow basalts) that were likely to have harbored these primitive groups of organisms.

In the progressively metamorphosed rock record of the Early Archean all currently reported types of biosignatures have been found to be ambiguous. Possible microfossil structures have lost most of their original morphology, organic compounds including molecular biomarkers have turned into kerogen or crystalline graphite (of uncertain origin), and isotope signatures have been blurred by exchange reactions and hydrothermal processes. Furthermore, several abiologic metamorphic reactions have been identified that can produce kerogen or graphite, and specific abiologic processes have been described that can generate complex structures that resemble microfossils. Macroscopic fossil evidence in the form of stromatolites has been controversial as well, since several abiologic processes were identified that resulted in similar degrees of structural complexity. In summary, several processes associated with metamorphism have made the search for traces of early life a great challenge, and has led to several ongoing controversies. Life can be traced unambiguously to approximately 2.7 Ga ago, based on well described morphological microfossils and especially molecular fossils. Beyond this point many claims for biologic processes have been made, and all of them have to some degree been drawn into question. Some of the intriguing but controversial early Archean traces include 1) isotopically light graphite inclusions in >3.8 Ga rocks from Akilia island and the Isua Supracrustal Belt in southwest Greenland, 2) kerogenous microstructures, stromatolites and diverse stable isotope ratio anomalies in 3.5 Ga cherts from the Pilbara Granitoid-Greenstone Belt in Western Australia, 3) kerogenous microstructures, stromatolites, and diverse stable isotope ratio anomalies in cherts, as well as microscopic tubes in altered pillow basalts from the 3.4-3.2 Ga Barberton Greenstone Belt in South Africa. An account is given here of some important controversies regarding these earliest traces of life.

# **DETECTION DE MICRO-ORGANISMES ET DE LEURS SIGNATURES EN MILIEU MINERAL. FOSSILISATION**

François GUYOT

Laboratoire de Minéralogie. IMPMC et IPG. Paris

Du point de vue de l'exobiologie, la mise en évidence de structures organisées fonctionnelles, c'est à dire de micro-organismes indigènes, dans de la matière extra-terrestre, représente une sorte de quête ultime. Il est intéressant de noter que cet objectif converge avec des préoccupations géologiques classiques concernant la détection de micro-organismes dans des milieux minéralisés actuels ou anciens. La recherche a évolué depuis un point de vue relativement naïf où une simple image de microscopie électronique à balayage était considérée sinon comme une preuve de trace de micro-organismes, mais au moins comme une forte présomption (on rappellera brièvement certains aspects de la problématique nanobactéries), à des protocoles beaucoup plus exigeants, intégrant des données structurales, chimiques et isotopiques.

Au cours de cet exposé, j'illustrerai ces exigences à partir de nos recherches en cours sur :

- la contamination de matériel extra-terrestre par des micro-organismes d'origine terrestre et la visualisation de ces micro-organismes
- la détection et l'imagerie de micro-organismes indigènes dans des stromatolithes actuels, recherche pour laquelle nous avons été financés par le GDR Exobiologie
- l'effet de conditions environnementales sévères sur la préservation de micro-organismes.

Ces exemples pourront servir de base pour discuter les stratégies de mise en évidence d'éventuelles structures organisées fonctionnelles dans des matériaux extra-terrestres.

# **LA PLACE DES MICROBES HYPERTHERMOPHILES ET DE LEUR VIRUS DANS LE MONDE VIVANT ?**

Patrick FORTERRE

Institut Pasteur, 25 rue du Docteur Roux, 75015, Paris, et Institut de Génétique et  
Microbiologie, Université Paris-Sud, 91405, Orsay Cedex

Ces dernières années, plusieurs équipes en France ont entrepris l'étude des virus et des plasmides présents chez les archées et des bactéries qui vivent dans les sources hydrothermales terrestres ou sous-marines. Ces études font suite aux travaux pionniers réalisés par Wolfram Zillig et ses collaborateurs en Allemagne dans les années 1985-2000. Je ferai le point sur les recherches menées actuellement dans notre pays en rappelant à cette occasion les questions posées sur le plan évolutif par l'existence d'organismes capables de vivre à des températures qui parfois dépassent le point d'ébullition de l'eau. J'introduirais également le débat (un peu inattendu) qui vient de s'ouvrir sur l'origine des cellules et des virus (qui est apparu en premier ?).

# **MARS : EVOLUTION GEOLOGIQUE, HYDROLOGIQUE ET CLIMATIQUE, ET IMPLICATIONS POUR LA RECHERCHE DE LA VIE**

François POULET

Institut d'Astrophysique Spatiale, CNRS/Université Paris Sud, 91405 Orsay Cedex

Depuis que le satellite Mariner 9 a découvert en 1971 des empreintes de réseaux fluviaux sur Mars, les missions spatiales se sont succédées pour étudier en détail l'atmosphère, la surface et le sous-sol, et contraindre les conditions climatiques qui ont prévalu au cours de l'histoire de cette planète. Les chenaux ont été localisés dans les régions les plus anciennes (<3.8 milliards d'années) et ont été interprétés comme des traceurs d'une période chaude et humide au cours du premier milliard d'années. Cependant, il a aussi été proposé que ces réseaux fluviaux se soient formés sous des conditions beaucoup plus froides et ne nécessitant pas d'eau liquide en abondance. Les récentes missions (ESA/Mars Express, NASA/Mars Exploration Rovers) ont permis d'améliorer considérablement notre compréhension de l'histoire géologique et climatique de cette planète. Des roches dont la composition et la structure indiquent qu'elles se sont formées il y a environ 4 milliards d'années sous l'effet d'eau liquide stagnante en surface ont été identifiées par un des rovers américains. Le satellite Mars Express a de son côté découvert et cartographié à l'échelle planétaire deux types de minéraux hydratés (argiles et sulfates) qui impliquent de manière non ambiguë la présence d'eau liquide lors du premier milliard d'années. Ces récentes découvertes montrent que l'histoire de Mars est faite de phases d'altérations distinctes : la première (<4 milliards d'années) correspond à la formation des argiles et l'existence de ces minéraux est la meilleure preuve d'un environnement favorable à la présence d'eau liquide en abondance sur Mars. À cette première phase a succédé la formation des sulfates révélant un environnement plus acide et certainement moins humide. Une troisième phase commencée il y a environ 3.5 milliards est principalement définie par une altération atmosphère/surface sans action majeure de l'eau liquide. L'environnement primitif de Mars était donc caractérisé à la fois par de l'eau liquide en abondance et plusieurs sources d'énergie (différentiation, volcanisme, impact, érosion, sédimentation), deux des conditions nécessaires pour l'origine de la vie. Cependant, il sera montré que des questions majeures telles que les conditions d'émergence et d'habitabilité restent posées. Enfin, je terminerai mon exposé par une revue des derniers résultats concernant l'éventuelle détection de méthane et l'étude du sous-sol martien par sondage radar.

**MILIEUX EXTREMES – ORIGINE DE LA VIE – EVOLUTION**

P. PRIEUR

Université Paris11, Orsay

**LA RECHERCHE DE LA VIE HORS SYSTEME SOLAIRE.  
FEUILLE DE ROUTE**

Marc OLLIVIER

Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay

**Résumé :** Depuis la découverte des premières planètes hors système solaire (exoplanètes) il y a maintenant plus d'une dizaine d'années, une stratégie de recherche et d'analyse de ces objets et de ceux de taille plus modeste (planètes telluriques) a clairement été identifiée. L'une des principales motivations à la fois scientifique, mais aussi philosophique est la question de l'habitabilité de ces nouveaux mondes. Durant cet exposé, je présenterai les différentes étapes d'une « feuille de route » qui devrait permettre, d'ici une vingtaine d'années d'identifier des planètes telluriques autour des étoiles proches et d'analyser la composition de leur atmosphère afin de recueillir les premiers indices permettant d'envisager la présence de vie à leur surface.



# BIOSIGNATURES SPECTRALES

Franck SELSIS

CRAL-ENS Lyon

Est-il envisageable de détecter par spectroscopie les signes d'une activité biologique sur une planète orbitant autour d'une autre étoile? Les progrès réalisés au cours des dernières années dans le domaine de la détection et de la caractérisation des exoplanètes nous amènent à nous poser cette question en termes de plus en plus concrets. La conception d'un instrument dédié à la recherche de planètes habitables et à la détection de biosignatures spectrales est un défi à la fois pratique, en terme de technologie et de stratégie, et fondamental, lié à la définition de la vie, au concept d'habitabilité et aux biais anthropocentriques qu'impliquent la démarche. Ces aspects ont été traités par plusieurs études menées dans le cadre du GdR Exobio. Nous en ferons la synthèse à travers les questions suivantes :

- Quelle peut-être l'abondance et la diversité des planètes habitables dans le voisinage solaire ? Existents-ils des critères nous permettant de sélectionner les étoiles à privilégier dans notre recherche de planètes habitables (type spectral, métallicité, âge, présence et propriétés des planètes géantes) ?

- Ces critères de sélection satisfont-ils aux contraintes observationnelles ?

- Comment une biosphère peut-elle modifier l'environnement planétaire d'une façon globale ? Comment doit-on considérer l'exemple de la Terre dans ce contexte ?

- Quelles propriétés d'une exoplanète tellurique les instruments astronomiques de la prochaine génération pourront-ils révéler : dimensions, masse, constituants atmosphériques, température, propriétés de surface ?

- Lesquelles de ces propriétés peuvent-elles être affectées de façon détectable par la présence de vie ?

Nous discuterons aussi de la possible détection de méthane sur Mars et de la controverse associée, qui illustre bien les différents problèmes posés à la fois par la détection et l'interprétation d'un constituant dont l'origine est potentiellement biogénique. Nous insisterons sur les notions de faux-positifs et faux-négatifs, centrales dans la problématique des biosignatures.

# **Posters**

**P1 – P36**

## CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES ANALOGUES D'AEROSOLS DE TITAN

Jean-Michel BERNARD

jean-michel.bernard@ujf-grenoble.fr

En appui à la mission spatiale Cassini-Huygens qui explore notamment Titan, satellite de Saturne, des simulations expérimentales en laboratoire tentent de reproduire la chimie atmosphérique de Titan. Des aérosols, appelés « tholins », sont produits et sont considérés jusqu'à ce jour comme des analogues d'aérosols de Titan. Ce sont actuellement les seuls "matériaux-types" qui permettent l'interprétation des données de la mission Cassini-Huygens et leur caractérisation physico-chimique est absolument nécessaire.

Une collaboration LPG – LISA – SA/IPSL est actuellement mise en place avec le concours de plusieurs laboratoires nationaux et internationaux afin de **caractériser la nature de ces tholins de Titan et de fournir des données expérimentales pour l'interprétation des données observationnelles**, notamment des instruments DISR, ACP, CIRS et VIMS embarqués à bord de Cassini-Huygens. Par la suite, ces données permettront de mieux comprendre la chimie dans l'atmosphère et à la surface de ce satellite.

Des premiers résultats concluants ont été obtenus avec la mise en évidence d'une structure désordonnée et la présence de petites unités aromatiques au sein de macromolécules, d'une hétérogénéité des tholins à l'échelle micrométrique, des différences de couleur (allant du jaune clair au marron foncé), des différences structurales selon les modes de production des tholins (présence ou non de fonctions  $\text{CH}_2/\text{CH}_3$ , variation du ratio  $\text{sp}^2/\text{sp}^3$  du carbone...). Ces résultats ont un impact important sur l'analyse des données de la mission Cassini-Huygens, notamment sur l'interprétation des données de surface par DISR (Descent Imager/Spectral Radiometer) puisque la réflectance visible-IR des tholins mesurée au laboratoire est différente selon les modes de production.

Cependant, des analyses complémentaires ont été ou doivent être effectuées:

- Des signatures dans l'infrarouge (spectroscopie IR et Raman UV) ne sont pas attribuées, notamment trois bandes vers  $2200 \text{ cm}^{-1}$ . Des analyses physico-chimiques avec la production de tholins isotopiquement enrichis en  $^{13}\text{C}$ , D et/ou  $^{15}\text{N}$  nous permettra d'observer des décalages de bandes et ainsi de déterminer précisément les fonctions chimiques présentes dans les tholins.
- Une connaissance plus fine de la structure des tholins est approfondie avec la RMN du solide sur les échantillons isotopiquement enrichis permettant de déterminer des structures chimiques, notamment la présence de liaisons nitriles -CN.
- L'hétérogénéité des tholins à l'échelle micrométrique nous incite à les analyser par microspectroscopie IR afin d'obtenir une "carte spatiale" des échantillons produits et de fournir un jeu de données optiques. Celui-ci servira par la suite aux traitements des données de CIRS et DISR, notamment l'implication des aérosols de Titan sur le calcul de l'albédo.

A moyen terme, l'ensemble de ces données pourrait être mises à la disposition de la communauté scientifique sous forme de banque de données expérimentales à travers l'observatoire virtuel de planétologie, auquel les instituts proposant participent, en cours de développement au sein de la communauté française.

## ETUDE EN LABORATOIRE DES EFFETS D'IMPACT SUR LES METEORITES CARBONEES

M. BERTRAND, °S. VAN DER GAAST, \*F. VILAS, \*F. HÖRZ, \*G. BARNES, A.  
CHABIN, A. BRACK & F. WESTALL

Centre de Biophysique Moléculaire, rue Charles Sadron, 45071 Orléans cedex 2

°Netherlands Institute of Sea Research, Texel, Pays-Bas

\*NASA Johnson Space Center, Houston, Etats-Unis

Notre équipe cherche à conforter l'hypothèse d'une importation de matière organique, synthétisée dans le milieu interstellaire, par les météorites ou micrométéorites. Nous nous intéressons plus particulièrement aux acides aminés.

Nous avons déjà démontré que des synthèses d'acides aminés sont possibles dans les conditions du milieu interstellaire, au sein de grains cométaires (réf.1) ; nous nous intéressons à présent à la résistance de ces acides aminés aux conditions de l'espace et à l'impact météoritique (réf.2,3,4).

Afin d'étudier l'effet d'un impact météoritique sur la matière organique, nous avons recréé artificiellement des météorites de type chondrite carbonée en associant 10 acides aminés, de nature protéique et non protéique, et un dipeptide, à une argile de type saponite. Ces météorites artificielles ont subi en laboratoire des pressions d'impact allant de 15 GPa à 30 GPa.

La préparation et l'analyse des échantillons ont été effectuées au Centre de Biophysique Moléculaire d'Orléans, la simulation d'impact météoritique, au Johnson Space Center de Houston.

A 20 GPa, les acides aminés résistent bien au choc puisque la plupart d'entre eux sont conservés dans des proportions supérieures à 40%. Au delà de 20 GPa, deux groupes sont observés : les acides aminés à chaîne alkyle résistent bien mieux au choc que les acides aminés portant une fonction chimique sur leur chaînes latérales. A 30 GPa, seules des traces des acides aminés les plus stables sont détectées.

1- Munoz Caro G.M., Meierhenrich U.J., Schutte W.A., Barbier B., Arcones Segovia A., Rosenbauer H., Thiemann W.H.P., Brack A. & Greenberg J.M., *Nature*, Vol **416**, 403-406 (2002).

2- Barbier B., Chabin A., Chaput D. & Brack A., *Planet. Space Sci.*, Vol. **46**, 4, 391-398 (1998).

3- Barbier B., Henin O., Boillot F., Chabin A., Chaput D. & Brack A., *Planet. Space Sci.*, Vol. **50**, 353-359 (2002).

4- Boillot F. Chabin A., Buré C., Venet M., Belsky A., Bertrand M., Delmas A., Brack A. & Barbier B., *Origins of Life and Evol. Biosphere*, **32**, 359-385 (2002).

## HEXAMETHYLENETETRAMINE ET CHIMIE PREBIOTIQUE COMETAIRE

H. COTTIN, C. DUVAL, N. SIAD

LISA - Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques  
Universités Paris 12 - Paris 7, CNRS UMR 7583

Jusqu'à présent, une vingtaine de molécules ont été détectées en phase gazeuse dans les comètes lorsque celles-ci sont proches du soleil. Cependant, il n'existe à ce jour aucune information directe concernant la composition moléculaire des noyaux.

Depuis plus d'une vingtaine d'années, de nombreuses expériences de simulation expérimentale en laboratoire ont pour but d'étudier la chimie des glaces cométaires et interstellaires. Ces expériences consistent à simuler les apports d'énergie (chaleur, UV, particules chargées) subis par des mélanges de glaces choisis en fonction de l'abondance des molécules détectées dans les atmosphères cométaires (principalement H<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>OH, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>CO...), et donc représentatives de la composition majoritaire du noyau. Les résultats tendent à prouver qu'en plus des molécules déjà observées, il faut s'attendre à ce que les noyaux cométaires soient extrêmement riches en matériaux organiques complexes : composés de haut poids moléculaires, polymères, voire précurseurs d'acides aminés... Les comètes sont donc un terrain d'étude exobiologique de premier choix.

L'hexaméthylènetétramine (C<sub>6</sub>N<sub>4</sub>H<sub>12</sub>) est une molécule qui suscite un intérêt tout à fait particulier. En effet, Bernstein et al. (1995) ont montré qu'après la photolyse à 122 nm d'un mélange H<sub>2</sub>O : CH<sub>3</sub>OH : CO : NH<sub>3</sub> (100 : 50 : 10 : 10) à 10 K, l'analyse du résidu obtenu à température ambiante donne environ 60 % de HMT, 20 % d'éthers et de polymères du type du POM, et 20 % de cétones et d'amides.

La littérature évoque après hydrolyse du HMT la formation de formaldéhyde et de sels d'ammonium, ainsi que de méthylamine (Walker 1964). De plus, Wolman et al. (1971) ont signalé la formation d'acides aminés lors de cette hydrolyse.

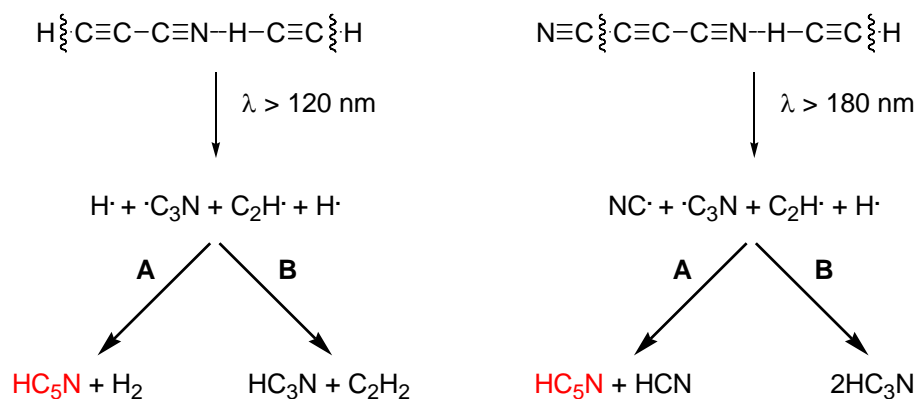
La répétition des expériences d'hydrolyse du HMT dans notre laboratoire n'a pas permis de mettre en évidence la formation d'acides aminés comme il était suggéré, mais des acides carboxyliques et des cétones ont été clairement identifiés lors des expériences. Nos résultats ont permis de calculer qu'il n'y a pas plus de 8.10<sup>-3</sup>% du HMT qui s'hydrolyse en glycine.

## CARACTERISATION IRTF DU HC<sub>5</sub>N (DC<sub>5</sub>N) EN MATRICE CRYOGENIQUE D'ARGON

A. COUPEAUD, N. PIETRI, I. COUTURIER-TAMBURELLI et J. P. AYCARD

Laboratoire de Physique des Interactions Ioniques et Moléculaires, UMR 6633, Équipe de spectrométries et dynamique moléculaires, Université de Provence, Centre de St Jérôme, case 252, 13397 Marseille cedex 20.

Depuis sa première détection radioastronomique par émission rotationnelle au sein du milieu interstellaire<sup>[1]</sup>, le cyanodiacétylène, HC<sub>5</sub>N, a pu être observé dans une grande variété d'environnements astrochimiques et notamment au cours de simulations en laboratoire de l'atmosphère de Titan<sup>[2]</sup>. Notre objectif était de proposer un processus de formation photochimique du HC<sub>5</sub>N, et pour cela, nous avons procédé aux irradiations UV larges bandes des complexes<sup>[3]</sup> HC<sub>3</sub>N:C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> et C<sub>4</sub>N<sub>2</sub>:C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>. En effet, ces deux nitriles et cet alcyne sont au cœur de la photoréactivité qui règne dans cette atmosphère<sup>[4]</sup> et leur photolyse respective est à l'origine de la formation des radicaux <sup>•</sup>C<sub>3</sub>N et C<sub>2</sub>H<sup>•</sup>.



En nous appuyant sur des expériences isotopiques (HC<sub>3</sub><sup>15</sup>N, C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>, <sup>13</sup>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) et des calculs de DFT, nous avons mis en évidence la formation du HC<sub>5</sub>N au cours de ces photolyses<sup>[5]</sup>. Cependant, la mise au point récente par Y. Trolez et J. C. Guillemin<sup>[6]</sup> d'une synthèse préparative et efficace, par voie organique du cyanodiacétylène, nous a permis de caractériser son spectre IRTF en matrice cryogénique à 10 K et de le comparer directement à ceux obtenus par voie photochimique.

Après avoir synthétisé le DC<sub>5</sub>N, nous avons reproduit la même analyse.

<sup>[1]</sup> L. W. Avery, N. W. Broten, J. M. MacLeod, T. Oka and H. W. Kroto; *Astrophys. J.* **1976**, 205, L173.

<sup>[2]</sup> a- P. Coll, D. Coscia, M. C. Gazeau, E. De Vanssay, J. C. Guillemin and F. Raulin; *Adv. Space Res.* **1995**, 16, 93.

b- P. Coll, D. Coscia, M. C. Gazeau and F. Raulin; *Origins of Life Evol. Biosphere* **1998**, 28, 195.

c- E. De Vanssay, M. C. Gazeau, J. C. Guillemin and F. Raulin; *Planetary Space Sci.* **1995**, 43, 25.

d- P. Coll, D. Coscia, N. Smith, M. C. Gazeau, S. I. Ramirez, G. Cernogora, G. Israel and F. Raulin; *Planetary Space Sci.* **1995**, 43, 25.

<sup>[3]</sup> Z. Guennoun, A. Coupeaud, I. Couturier-Tamburelli, N. Piétri, S. Coussan and J. P. Aycard; *Chem. Phys.* **2004**, 300, 143.

<sup>[4]</sup> D. Toublanc, J. P. Parisot, J. Brillet, D. Gautier, F. Raulin and C. P. McKay; *Icarus* **1995**, 113, 2.

<sup>[5]</sup> A. Coupeaud, R. Kolos, I. Couturier-Tamburelli, J. P. Aycard and N. Piétri; *J. Phys. Chem. A* **2006**, 110, 2371.

<sup>[6]</sup> Y. Trolez and J. C. Guillemin; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2005**, 44, 2.

**RADIOSPECTROSCOPICAL SEARCH FOR MOLECULE DELIVERY AND  
INDUCED CHEMISTRY IN THE EARTH ATMOSPHERE DURING THE LEONIDS  
METEOR SHOWER.**

DESPOIS,D., RICAUD,Ph., SCHNEIDER,N., URBAN,J.,LAUTIE, N., SELSIS,F.,  
BIVER,N., CROVISIER,J., LIS,D., CHAMBERLIN,R., PHILLIPS,T., MOTTE,F.,  
PARDO,J., MILLER,M.,JENNISKENS,P.

Interplanetary dust is a major component of the total extra-terrestrial delivery of matter to the Earth (~20-40 000t/yr). It is a plausible source of prebiotic molecules on the early Earth. Using large mm wave telescopes we searched for variation in the HCN content of the Earth upper atmosphere during the recent Leonids meteor showers. With a Zenithal Hourly Rate of up to 3000-6000 meteors/hr in the years 1999-2002 (whereas sporadic meteors reach ~10-15 hr-1), Leonids were a unique opportunity for many years for such an investigation . We discuss the consequences of the upper limit we obtained.

## SPECTROSCOPIE VUV A BASSES TEMPERATURES DE MOLECULES D'INTERET PLANETOLOGIQUE

T. FERRADAZ, Y. BENILAN, N. FRAY, A. JOLLY, M. SCHWELL

L'atmosphère de Titan est un laboratoire unique à échelle planétaire dans lequel une riche chimie organique est à l'œuvre. Les précédentes observations de ce satellite de Saturne ont permis d'identifier de nombreuses espèces chimiques. Actuellement, le spectromètre UVIS embarqué à bord de la mission Cassini fournit des spectres dans l'UV lointain (110-190 nm) et l'UV extrême (56-118 nm) avec une résolution de 3Å. Pour pouvoir interpréter ces observations, il est nécessaire de connaître les fréquences et les intensités des bandes des molécules dont la présence est suspectée. Le GPCOS développe, au sein du LISA, des études expérimentales spectroscopiques de molécules organiques d'intérêt planétologique dans le but, d'une part, d'améliorer la détection de composés organiques dans l'atmosphère de Titan et d'autre part, d'aider à la compréhension des mécanismes de formation et d'évolution de cette matière organique, en parallèle avec les études de modélisation et de simulation en laboratoire.

Les mesures qui seront présentées, ont été réalisées au synchrotron BESSY à Berlin. Les sections efficaces d'absorption ultraviolets et leurs dépendances en température sont déterminées en employant deux cellules à gaz avec un long chemin optique (120 cm) et un court chemin optique (20 cm) pour les zones de forte absorption. La température de l'échantillon est régulée dans le domaine 170-290K par circulation d'azote liquide autour de la cellule. Nous avons mesuré les coefficients d'absorption absolus dans le domaine de l'ultraviolet du vide (VUV) entre 80 et 200 nm de plusieurs composés d'importance pour la chimie de Titan :  $C_4H_2$ , HCN,  $HC_3N$  et  $HC_5N$ . Les spectres ont été obtenus à deux températures différentes : à température ambiante (290 K) et à plus basse température (180K). Les basses températures sont plus représentatives de l'atmosphère de Titan.

Les spectres acquis enrichissent les banques de données déjà existantes. La comparaison des spectres synthétiques avec les spectres expérimentaux permettra l'extrapolation à basses températures. Ces nouvelles données de laboratoire permettent d'améliorer l'analyse des observations. En outre, ces nouveaux spectres seront introduites dans les modèles photochimiques afin de réduire les incertitudes sur les taux de photolyse liées aux coefficients d'absorption.



**PROGRAMME S.E.T. U.P. (SIMULATIONS EXPERIMENTALES ET THEORIQUES  
UTILES A LA PLANETOLOGIE : APPLICATION A L'ETUDE DE  
L'ATMOSPHERE DE TITAN ET DE L'ENVIRONNEMENT COMETAIRE)**

M.C. GAZEAU  
LISA, GPCOS team

Le groupe de Physico-Chimie Organique Spatiale (GPCOS) du Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA) est investi depuis de nombreuses années dans des programmes de recherche qui mettent en synergie les apports de expérimentation en laboratoire, de la modélisation et de l'interprétation d'observations

L'un des programmes développé concerne l'étude de l'atmosphère de Titan. En particulier, des simulations de laboratoire sont entreprises. Une attention particulière a été portée sur l'amélioration de la représentativité de ces simulations. C'est pourquoi, un nouveau programme prévoit de travailler dans des conditions de basses pressions et basses températures, avec un mélange gazeux réaliste et un dépôt d'énergie couplant plasma froid et photons UV. Ainsi, il doit permettre de simuler les processus photochimiques initiés par la photodissociation du méthane qui joue un rôle important dans l'atmosphère de Titan. Pour des raisons expérimentales, cette dissociation doit s'effectuer au moyen d'un processus multiphotonique, le méthane étant soumis à l'irradiation d'un laser excimère délivrant un rayonnement de 248 nm. L'absorption de deux photons doit permettre un dépôt d'énergie quasiment équivalent à celui d'un photon à Lyman- $\alpha$  (121,6 nm) qui est la radiation principalement responsable de la dissociation du méthane dans l'atmosphère de Titan.

Un autre thème abordé au GPCOS concerne l'environnement cométaire. Un programme de recherche est développé afin de contraindre la nature physico-chimique des noyaux cométaires. Les études expérimentales ont alors pour objectif la mesure de données quantitatives permettant la modélisation des différents processus solide  $\rightarrow$  gaz ayant lieu dans les noyaux cométaires ou leur environnement. Les expériences de laboratoire qui ont été entreprises jusqu'à présent dans le cadre de ce programme de recherche ont consisté en l'étude de la production d'espèces gazeuses lors de la dégradation de composés organiques réfractaires sous l'effet d'un rayonnement UV ou d'une augmentation de température ainsi que de l'évolution de la structure chimique de ces composés organiques complexes lors de ces processus.

Un projet nommé SETUP (Simulations Expérimentales et Théoriques Utiles à la Planétologie), nécessaire au développement des deux programmes précédemment, a été initié en 2003. Le dispositif expérimental développé dans ce cadre sera présenté. Les apports de ce dernier (qui permet le diagnostic in situ et résolu en temps d'espèces moléculaires stables mais aussi d'intermédiaires radicalaires) à nos études appliquées aux environnements planétaires ou cométaires seront discutés. Enfin, les premiers résultats seront commentés.

**ÉTUDE THEORIQUE D'UNE ETAPE IMPORTANTE DE LA FORMATION DE  
GLYCINE PAR LE BIAIS DE LA SYNTHÈSE DE STRECKER DANS LE MILIEU  
INTERSTELLAIRE.**

Denise M. KOCH,<sup>a,c</sup> Sichuan XU,<sup>a,c</sup> Céline TOUBIN,<sup>b,c</sup> Gilles H. PESLHERBE,<sup>c</sup> and James  
T. HYNES<sup>A,d</sup>

<sup>a</sup>Département de Chimie, Ecole Normale Supérieure, UMR 8640 Pasteur, 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, FRANCE

<sup>b</sup>Laboratoire de Physique des Lasers, des Atomes et des Molécules, Université de Lille I, Cité Scientifique, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, FRANCE

<sup>c</sup>Centre for Research in Molecular Modeling and Department of Chemistry & Biochemistry, Concordia University, 7141 Sherbrooke St. West, Montreal, Quebec, CANADA H4B 1R6

<sup>d</sup>Department of Chemistry and Biochemistry, University of Colorado, Boulder CO 80309, USA

Nous présentons les résultats d'une étude théorique sur une étape importante de la formation de l'acide aminé glycine par la synthèse de Strecker<sup>1</sup> sur la surface glaciale de comètes dans le milieu interstellaire. Spécifiquement, nous considérons la formation de aminoacétonitrile ( $\text{H}_2\text{CNNH}_2$ ), un précurseur de glycine, par la réaction d'addition de méthaneimine ( $\text{CH}_2\text{NH}$ ) et HCN, et nous explorons également la réaction avec l'isomère HNC puisque les deux isomères sont présents en quantité comparables dans le milieu interstellaire.<sup>2</sup> Des calculs de structure électronique indique que la synthèse de aminoacétonitrile ne serait pas possible en phase gazeuse puisque les barrières de réaction sont trop élevées. Par contre, l'addition de molécules d'eau arrangées en cercle avec les réactifs favorise le transfert de protons autour du cercle et, par conséquent, réduit considérablement les barrières de réaction. La présence de deux molécules d'eau qui servent de relais de protons avec les réactifs et de plusieurs molécules d'eau externes qui solvatent les molécules impliquées dans la réaction favorise la réaction de l'isomère HNC avec méthaneimine avec une barrière d'énergie libre de seulement 1 kcal/mol dans les conditions du milieu interstellaire (50K). La réaction correspondante avec l'isomère HCN a une barrière trop élevée pour être une route viable de synthèse dans ces conditions. Nous avons également exploré la réaction d'isomérisation de HNC avec l'isomère nonréactif HCN afin de déterminer si l'isomérisation de HNC sur une surface de glace se produirait plus rapidement que la réaction avec méthaneimine. Les calculs indiquent que la réaction d'isomérisation a une barrière d'énergie libre, à 50K, plus grande que celle de la réaction de HNC avec méthaneimine. La signification de ces résultats pour la formation de glycine sur des surfaces de glace dans le milieu interstellaire est discutée.

[1] Miller, S. L. *J. Am. Chem. Soc.* **1955**, 77, 2351.

[2] Irvine, W. M.; Morvan, D. B.; Lis, D. C.; Matthews, H. E.; Biver, N.; Crovisier, J.; Davies, J. K.; Dent, W. R. F.; Gautier, D.; Godfrey, P. D.; Keene, J.; Lovell, A. J.; Owen, T. C.; Phillips, T. G.; Rauer, H.; Schloerb, F. P.; Senay, M.; Young, K. *Nature*, **1996**, 383, 418.

## CARBON ISOTOPIC ENRICHMENT IN TITAN'S THOLINS: IMPLICATIONS FOR TITAN'S AEROSOLS

M.-J. NGUYEN<sup>a</sup>, F. RAULIN<sup>a</sup>, P. COLL<sup>a</sup>, S. DERENNE<sup>b</sup>, C. SZOPA<sup>c</sup>, G. CERNOGORA<sup>c</sup>, G. ISRAËL<sup>c</sup>, and J.-M. BERNARD<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), Universities Paris 12 and Paris 7, F-94010 Créteil, France

<sup>b</sup> Laboratoire de Chimie Bioorganique et Organique Physique, ENS Paris, F-75231 Paris, France

<sup>c</sup> Service d'Aéronomie (SA), Universities Paris 6 and Versailles-Saint-Quentin, F-91371 Verrières le buisson, France

<sup>d</sup> Laboratoire de Planétologie de Grenoble (LPG), F-38041 Grenoble, France

Since the discovery of the main composition of Titan's atmosphere, many laboratory experiments have been carried out to mimic its chemical evolution, and more particularly the formation of the organic haze particles widespread in this atmosphere. Indeed, some of these simulation experiments produce a solid phase – named Titan's tholins – that is assumed to get properties analogous to the Titan's aerosols ones. In the present work, we focused on the possible isotopic fractionation of carbon during the processes involved in the formation of Titan's tholins. This paper aims to present the first results obtained on the  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  isotopic ratios measured on Titan's tholins synthesized in laboratory with cold plasma discharges. Measurements of isotopic enhancement in  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ), done both on tholins and on the initial gas mixture ( $\text{N}_2:\text{CH}_4$  (98:2)) used to produce them, do not show any evident deficit or enrichment in  $^{13}\text{C}$  relatively to  $^{12}\text{C}$  in the synthesised tholins, compared to the initial gas mixture. Preliminary retrieving of the data of the Aerosol Collector and Pyrolyzer (ACP) experiment on the Huygens probe suggests that Titan's aerosols may also present no carbon isotopic enrichment. This observation allows to go further in the analyses of the ACP experiment data.

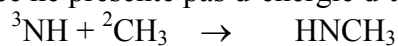
**CH<sub>2</sub>=NH : UN PRECURSEUR PREBIOTIQUE POSSIBLE  
DANS L'ATMOSPHERE DE TITAN**

F. PAUZAT et Y. ELLINGER

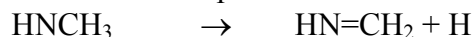
Laboratoire de Chimie Théorique  
LCT/LETMEX – UMR7616  
Université Pierre et Marie Curie - Paris VI

Dans des atmosphères constituées en majorité d'azote et d'hydrocarbures, la synthèse chimique relève essentiellement de réactions radicalaires. Une des espèces possède au minimum un ou plusieurs électrons non appariés. Dans les conditions de Titan, les initiateurs principaux des chaînes réactionnelles seront l'azote atomique et les produits de photodissociation du méthane (CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub> et CH). Un modèle chimique (Toublanc *et al.* 1995) incorporant 249 réactions entre 62 espèces différentes montre la formation de <sup>3</sup>NH, une espèce très réactive dont le devenir n'a pas été considéré.

Une étude du réseau des réactions initié par l'action de <sup>3</sup>NH sur CH<sub>3</sub> a été réalisée à l'aide des méthodes les plus élaborées de la chimie computationnelle ab-initio et DFT. Une seule voie d'entrée ne présente pas d'énergie d'activation



Plus de 20 voies de sortie ont été envisagées dont 9 sont exothermiques. La possibilité de former HCN est très faible dans ce système. Le résultat important de cette étude est la formation de HN=CH<sub>2</sub> par



Cette molécule peut être un point de départ vers les « tholins » en raison de ses aptitudes à la polymérisation ; ce peut être surtout un précurseur prébiotique puisque son hydratation conduit à H<sub>2</sub>N-CH<sub>2</sub>OH, molécule simple bi-fonctionnelle très réactive.

**ETUDES PAR MODELISATION MOLECULAIRE QUANTIQUE DE MOLECULES  
D'INTERET EXOBIOLOGIQUE**

Martine ADRIAN-SCOTTO, Dan VASILESCU

L.U.A.N. (UMR 6525)  
Parc Valrose 06108 NICE Cedex 2 France  
Tel +33 4 92 076 389  
<http://www-luan.unice.fr>  
[\\*scotto@unice.fr](mailto:*scotto@unice.fr), [\\*\\*vasilesc2001@yahoo.fr](mailto:**vasilesc2001@yahoo.fr)

Nous étudions par des méthodes de modélisation moléculaire quantique (ab initio et DFT) des molécules ou associations de molécules d'intérêt exobiologique : matériaux extraterrestres ou ingrédients supposés de la vie primitive.

Les résultats de nos calculs peuvent par exemple être utilisés dans le cadre de l'analyse des données collectées par les sondes spatiales telles que Huyghens (étude sur la composition de l'atmosphère de Titan), avec notamment la simulation de spectres infra rouge.

Après l'étude des clusters de HCN qui fit l'objet d'une communication au congrès ISSOL'05 ainsi que d'une publication (soumise), nous nous intéressons actuellement à des structures moléculaires fondamentales de la chimie prébiotique (aminoacyl adénylates).

## L'EAU POLAIRE ET APOLAIRE, UN SOLVANT POUR LA VIE

Marie-Paule BASSEZ

Département Chimie,  
Université de Strasbourg-3  
marie-paule.bassez@urs.u-strasbg.fr

Les systèmes hydrothermaux pourraient être des sites préférentiels dans lesquels des réactions chimiques essentielles pour l'origine de la vie auraient pu se produire. Une chimie prébiotique aurait pu se développer dans un environnement d'eau sous haute pression, conduisant à des modèles de vie sous haute pression.

Il est montré ici, que l'eau dans et autour des cheminées hydrothermales peut être présente sous la forme de dimères possédant un point de symétrie et donc de moment dipolaire nul. Ce milieu H<sub>2</sub>O non-polaire permettrait aux molécules apolaires telles que CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S de se concentrer et de débiter une chimie prébiotique sous haute pression, ou une piézochimie hydrothermale.

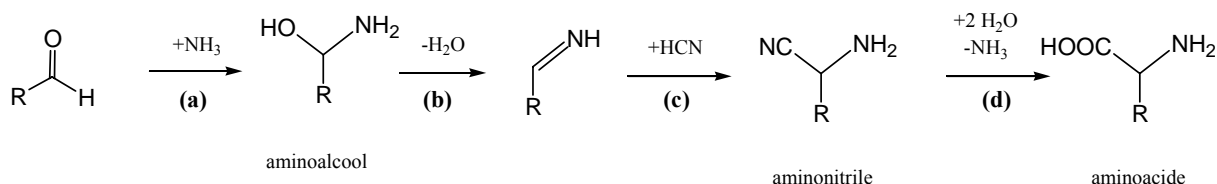
Des réactions chimiques dans un milieu d'eau polaire de constante diélectrique élevée, pourraient ensuite conduire à des molécules complexes en fonction des gradients de température et de pression. Des processus d'auto-organisation moléculaire pourraient en découler.

Il est également discuté une première forme de vie se développant au sein de cellules ayant une structure en gel.

**LA FORMATION DES ACIDES AMINES SELON LE SCHEMA DE STRECKER  
PEUT SE RESUMER AUX ETAPES SUIVANTES:**

G. BOUCHOUX

Ecole Polytechnique, Palaiseau



Deux séries de résultats expérimentaux et théoriques sont présentés pour les cas le plus simple  $\text{R}=\text{H}$ , en présence d'un proton.

La première concerne les étapes (a) et (b) pour lesquelles nous avons (i) exploré la surface de potentiel correspondante par des calculs de chimie quantique au niveau MP2/6-31G(d) et (ii) étudié la réaction entre  $\text{CH}_2\text{OH}^+$  et  $\text{NH}_3$  au moyen d'un spectromètre de masse à résonance cyclotronique ionique.

La seconde rassemble les principales informations tirées d'une étude de l'aminocétonitrile protoné en phase gazeuse. Ici encore une approche théorique par chimie quantique a été utilisée conjointement à une étude expérimentale réalisée sur un spectromètre de masse à résonance cyclotronique ionique et sur un spectromètre de masse tandem quadripolaire.

Les conséquences sur l'éventualité d'une synthèse prébiotique des acides aminés en phase gazeuse pourront être discutées à la lueur de ces données.

**PREBIOTIC CHEMISTRY: THE ASTRONOMER'S POINT OF VIEW**

D. DESPOIS et al.

Comets and asteroids are rich in complex molecules inherited from the parent interstellar cloud, synthesized in the solar nebula, or produced in the body itself. These molecules may have contributed, together with chemical synthesis in the early atmosphere and ocean, to the initial stock of prebiotic molecules from which Life has started. To precise what has been their exact role is an important question for astrobiology, and a source of challenges for astronomers, planetary scientists and chemists. We will present the concept of prebiotic molecule, the nature and possible origin of the organic molecules present in Solar system small bodies and in the Interstellar medium, the questions posed by a quantitative estimate, some recent observations and some examples of progress we may expect in the future.



## LA RECHERCHE DES MOLECULES PREBIOTIQUES ET LE PRINCIPE D'ENERGIE MINIMALE

M. LATTELAIS, G. BERTHIER, F. PAUZAT et Y. ELLINGER

Laboratoire de Chimie Théorique  
LCT/LETMEX – UMR7616  
Université Pierre et Marie Curie - Paris VI

Le point commun à toutes les expériences (de Miller 1953 à Takano *et al.* 2004) cherchant à reproduire la synthèse de systèmes prébiotiques est l'apport, sous une forme ou une autre, d'une énergie suffisante pour rendre réactif un mélange gazeux stable par ailleurs et conduire aux molécules les plus stables dans ces conditions.

Deux études, l'une des molécules les plus simples pouvant contenir le groupement peptidique, l'autre des premiers acides aminés, ont été réalisées à l'aide d'une méthode DFT. De tous les isomères possibles que l'on puisse former à partir de [C,3H,N,O], [2C,5H,N,O] et [3C,7H,NO] ce sont les trois composés contenant ce groupement, respectivement la formamide, l'acétamide et la N-méthyle acétamide qui sont énergétiquement les plus stables. Les deux premiers ont aujourd'hui été détectés.

Le même type d'étude a été effectuée sur les isomères possibles à partir de [2C,5H,N,2O] et [3C,7H,N,2O]. Ni la glycine, ni l'alanine, ni la  $\beta$  alanine ne sont les composés les plus stables ( $\sim 10$ - $12$  kcal au-dessus de R-NH-COOH). Dans le cas des systèmes protonés correspondants, la glycine  $\text{H}_3\text{N}^+\text{-CH}_2\text{-COOH}$  et la  $\beta$  alanine  $\text{H}_3\text{N}^+\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$  sont énergétiquement les plus stables de tous les composés possibles ; l'alanine biologique  $\text{H}_3\text{N}^+\text{-CH(CH}_3\text{)-COOH}$  se trouve  $\sim 7$  kcal/mol au-dessus. Le même ordre énergétique est obtenu pour les cations. Ces résultats sont à rapprocher de l'analyse des chondrites carbonées CI dans lesquelles la glycine et la  $\beta$  alanine sont les acides aminés majoritaires.

D'une manière générale, ce sont les isomères thermodynamiquement les plus stables qui sont majoritairement observés dans la phase gazeuse interstellaire. Il apparaît donc peu probable que les systèmes prébiotiques instables puissent être observés, ce qui n'exclut pas leur formation et leur piégeage à la surface des grains qui doit ici jouer un rôle fondamental.

## LE RIBOZYME SOUS PRESSION(S)

Sylvia TOBE (1), Thomas HEAMS (1), Jacques VERGNE (1), Guy HERVE (2), Marie-Christine MAUREL (1)

(1) Laboratoire de Biochimie de l'Evolution et Adaptabilité Moléculaire, Institut Jacques Monod, Paris, France.

(2) Laboratoire de Biochimie des signaux régulateurs cellulaires et moléculaires, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France.

La théorie du monde ARN suggère que la vie actuelle fondée sur l'ADN et les protéines ait été précédée par une forme de vie plus simple fondée exclusivement sur l'ARN. L'observation des multiples potentialités structurales et fonctionnelles de l'ARN, et la découverte des ARNs catalytiques (ribozymes) ont largement renforcé cette hypothèse. Les mécanismes catalytiques des ribozymes demeurent cependant mal connus, et les effets des hautes pressions sur leur activité n'ont encore jamais été mesurés. L'étude de l'influence de la pression sur le ribozyme en épingle à cheveux permet à la fois de préciser son mécanisme réactionnel et d'observer le comportement de cette molécule dans des conditions extrêmes, envisageables dans un environnement prébiotique.

Des études cinétiques portant sur l'activité catalytique du ribozyme ont été menées en faisant varier séparément la pression hydrostatique, la pression osmotique, et la nature du solvant. Différentes pressions hydrostatiques (de 0 à 2000 bars) ont été appliquées au moyen d'un dispositif dont l'utilisation est inédite pour des ARN catalytiques. Parallèlement, les effets de la variation de la pression osmotique ont été mesurés en utilisant différents types d'agents stressants (Polyéthylène Glycol 400 et 8000 et Dextran 11000). Enfin, les effets de différents types de solvants (éthanol, formamide) ont été testés.

S. TOBE, T. HEAMS, J. VERGNE, G. HERVE and M.C. MAUREL.  
The catalytic mechanism of hairpin ribozyme studied by hydrostatic pressure.  
*Nucleic Acids Res.* (2005) 33, 2557-2564.

G. HERVÉ, S. TOBÉ, T. HEAMS, J. VERGNE and M.C. MAUREL.  
Hydrostatic and osmotic pressure study of the hairpin ribozyme.  
*Biochim. Biophys. Acta. Special Issue*, (2006) 1764, 573-577.

**CARACTERISATION DE RIBOZYMES PAR SPECTROMETRIE RAMAN  
EXALTEE DE SURFACE**

A. PERCOT (1), S. LECOMTE (1), M-H BARON (1), S. TOBE (2), J. VERGNE (2),  
M-C MAUREL (2)

(1) Laboratoire de Dynamique, Interactions et Réactivité CNRS/UNIV. Paris-6, UMR  
7075, 2 rue Henri Dunant 94 320 Thiais, France

(2) Institut Jacques-Monod CNRS/UNIV. Paris-6, UMR 7592, 2 Place Jussieu 75 251 Paris  
Cedex 05, France

Dans un premier temps, nous nous intéresserons à la caractérisation du ribozyme en « épingle à cheveu » [Wilson et al, 2001 ; Meli et al, 2003] par spectrométrie Raman exaltée de surface (SERS). Une méthode de détection d'acides nucléiques par spectrométrie SERS a été mise au point au laboratoire [Grajcar et al, 2001]. Cette méthode permet de détecter des nanomoles d'oligonucléotides en sondant sélectivement les résidus adényls constitutifs. L'intensité du signal Raman qui dépend de la disponibilité des résidus adényls reflète leur état d'appariement [El Amri et al, 2001]. Cette particularité devrait permettre de suivre les cinétiques d'auto-lyse de sub-nanomoles de ribozymes, puisque l'auto-lyse entraîne un desappariement d'une séquence de résidus adényls.

Dans un deuxième temps, nous optimiserons la méthode afin d'étudier l'activité d'acides ribonucléiques catalytiques confinés dans un environnement lipidique. En effet, il a été montré que des bicouches stables se formaient à partir de dérivés d'hydrocarbures monocarboxyliques et polycycliques aromatiques détectés dans la météorite de Murchison (chondrite carbonée) [Deamer, 1997]. Par ailleurs Deamer et Oro, 1980, Deamer, 1997, Luisi et Walde, 2000 et Hanczyc et al. 2003, ont observé que le confinement amplifiait l'efficacité des contacts entre molécules partenaires. Ces résultats permettent de penser que sur la Terre primitive des lipides ou leurs analogues ont pu s'assembler pour former des compartiments favorables au déroulement de processus précurseurs des voies métaboliques. On peut donc attendre une modification de la cinétique d'autolyse du ribozyme dans cet environnement lipidique.

\*Deamer D.W. et Oro J. (1980) Role of lipids in prebiotic structures. *BioSystems* **12**:167-175.

\*Deamer D.W. (1997) The first living systems: A bioenergetic perspective. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* **61**:239 - 262.

\*El Amri C., Grajcar L., Femandjian S., Ghomi M., Baron M.H., Maurel M.C. Interaction of RNA and DNA hairpins with mineral surfaces in aqueous phase investigated by Surface-enhanced Raman spectroscopy (2001) *Geochem. and Orig. of Life*, Nakashima ed. pp. 119-132.

\*Grajcar L. et Baron M.H. (2001) A SERS probe of adenylyl residues available for intermolecular interactions. Part I-adenylyl fingerprint. Part II-reactive adenylyl sites in highly diluted DNA *J. Raman Spectrosc* **32**:912-918 et **32**:1037-1045.

\*Hanczyc M.M., Fujikawa S.M. et Szostak J. W. (2003) Experimental models of primitive cellular compartments. *Science* **302**: 618-622.

\*Luisi L. et Walde P. (2000) Giant vesicles. J. Wiley and Sons, Chichester, England.

\*Meli, M., Vergne, J., Maurel, M-C. (2003) In vitro selection of adenine-dependent hairpin ribozymes *J. Biol. Chem.*, (2003), 278, 11, 9835-9842.

\*Wilson, T. J., Zhao, Z-Y., Maxwell, K., Kontogiannis, L., Lilley, D. M. J. (2001) Importance of specific nucleotides in the folding of the natural form of the hairpin ribozyme *Biochemistry* **40**, 2291.

## CYANOBUTADIYNE (H-C≡C-C≡C-CN), SYNTHÈSE, SPECTROSCOPIE ET PHOTOLYSE.

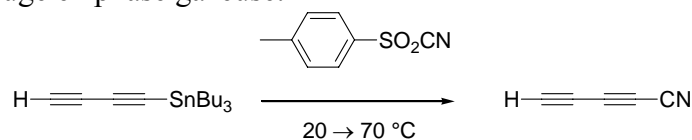
Yann TROLEZ, Jean-Claude GUILLEMIN

Sciences Chimiques de Rennes, UMR 6226 CNRS-Ecole Nationale Supérieure de Chimie de  
Rennes, 35700 Rennes, France. Jean-claude.guillemine@ensc-rennes.fr

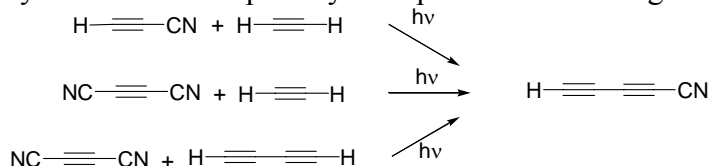
Les nitriles et en particulier les nitriles insaturés jouent un rôle particulier en Astrobiologie. Le cyanoacétylène a été observé dans l'atmosphère de Titan, dans la queue des comètes, dans le milieu interstellaire et dans de nombreuses simulations de l'atmosphère primitive terrestre. Le premier cyanopolyne, le cyanobutadiyne (2,4-pentadiynenitrile) a aussi été observé dans tous ces milieux à l'exception de l'atmosphère de Titan où il est activement recherché.

De nombreuses approches ont permis de le détecter en laboratoire mais il n'avait jamais été isolé à ce jour.

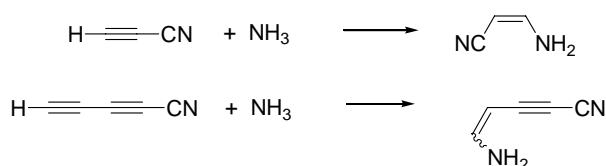
Nous avons synthétisé HC<sub>5</sub>N à l'échelle préparative par réaction du 1,3-butadiynyltri-n-butylstannane avec le cyanure de p-toluènesulfonyle. Il a ainsi pu être caractérisé par RMN <sup>1</sup>H et <sup>13</sup>C, et infrarouge en phase gazeuse.<sup>1</sup>



Disposant d'un échantillon authentique, nous avons pu confirmer sa formation dans divers mélanges photolysés et étudier sa photolyse en présence d'autres gaz.



La réaction de l'ammoniac sur le propynenitrile ou sur le cyanobutadiyne conduit uniquement à une énamine qui présentent des propriétés très différentes de la vinylamine non-substituée.<sup>2</sup>



L'acidité en phase gazeuse de la vinylamine et de la cyanovinyamine ont été déterminées et ont montré une acidité très supérieure à celle des amines saturées correspondantes.<sup>3</sup>

1. Trolez, Y.; Guillemin, J.-C. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2005**, *44*, 7224-7226.

2. Benidar, A.; Guillemin, J.-C.; MÓ, O.; Yáñez, M. *J. Phys. Chem. A.* **2005**, *109*, 4705-4712.

3. Guillemin, J.-C.; Riague, El H.; Gal, J.-F.; Maris, P.-C.; Mo, O.; Yanez, M.; *Chem. Eur. J.*, **2005**, *11*, 2145-2153.

**PRESERVATION DE SPORES DE LYCOPHYTES FOSSILES DANS UN  
METAMORPHISME DE HAUTE PRESSION : CARACTERISATION  
STRUCTURALE ET CHIMIQUE DE L'ECHELLE MILLIMETRIQUE A  
L'ECHELLE NANOMETRIQUE.**

Sylvain BERNARD<sup>1</sup>, Karim BENZERARA<sup>2</sup>, Olivier BEYSSAC<sup>1</sup>, Nicolas MENGUY<sup>2</sup>,  
Francois GUYOT<sup>2</sup>, Gordon E. BROWN Jr. <sup>3</sup>, Bruno GOFFE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Géologie, Ecole Normale Supérieure, CNRS UMR 8538, Paris, France.

<sup>2</sup> Institut de Minéralogie et Physique des Milieux Condensés, Paris, France.

<sup>3</sup> Surface & Aqueous Geochemistry Group, Department of Geological and Environmental  
Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305-2115, USA

Les carbonés métamorphiques proviennent principalement de la conversion de la matière organique (MO) au cours des processus diagenétiques et métamorphiques. Dans les roches soumises à des températures supérieures à 300°C, la MO a perdu en grande partie les informations texturales relatives à sa biogénicité. Pourtant de telles informations sont essentielles pour traquer les traces de vie primitive, notamment dans les roches archéennes. Cette étude présente des observations effectuées sur des roches métasédimentaires contenant des mégaspores de lycophytes dont la morphologie est exceptionnellement bien préservée, malgré un métamorphisme de haute pression basse température (~360°C, ~12 kbars, soit 35 km de profondeur !). Ces spores ont été échantillonnées dans des calcaires triasiques du massif de la Vanoise (Alpes occidentales, France). En combinant la microspectroscopie Raman (MR), la microscopie électronique à balayage (MEB) et à transmission (MET), et la microspectroscopie d'absorption X (STXM), une caractérisation structurale multi-échelle de la MO des parois des mégaspores et de l'encaissant minéral, principalement des carbonates, a pu être effectuée.

La présence d'une couronne de calcite ferromagnésienne (ankérite) le long des parois des mégaspores a été mise en évidence par l'étude SEM et RM, et confirmée à l'échelle nanométrique. Les spectres d'absorption X (NEXAFS) au seuil K du carbone obtenus par STXM, ont montré une très forte interaction entre MO et carbonates au sein des parois de spores ainsi que la présence de deux types de MO. L'étude MET a confirmé l'observation de MO légèrement graphitisée dans la partie interne des parois des mégaspores et de MO poreuse et d'aspect amorphe dans la partie interne. Par analogie avec la structure des parois de spores actuels, ces caractéristiques résulteraient de la structure originale de ces fossiles métamorphiques. Ces signatures biogéniques, tant texturales que chimiques, auraient donc été préservées malgré le métamorphisme de haut grade subi par ces roches.

**MOLECULAR STUDIES OF THE ARSENIC BIOREMEDIATION BY  
*ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS* AND *THIOMONAS* SP. IN THE ACID  
MINE DRAINAGE OF CARNOULÈS**

<sup>1</sup>Katia DUQUESNE, <sup>1</sup>Jeanine RATOUCHE, <sup>1</sup>Andres YARZABAL, <sup>1</sup>Aurelie LIEUTAUD, <sup>2</sup>Sophie LEBRUN, <sup>2</sup>Guillaume MORIN and <sup>1</sup>Violaine BONNEFOY

<sup>1</sup>Laboratoire de Chimie Bactérienne, IBSM, CNRS, 31 chemin Joseph Aiguier  
Cedex 20, 13402, Marseille, France; [bonnefoy@ibsm.cnrs-mrs.fr](mailto:bonnefoy@ibsm.cnrs-mrs.fr)

<sup>2</sup>Laboratoire de Minéralogie Cristallographie de Paris, CNRS, Universités 6 et 7,  
4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France; [Guillaume.Morin@lmcp.jussieu.fr](mailto:Guillaume.Morin@lmcp.jussieu.fr)

Weathering of the arsenopyrite-rich tailings of the Carnoulès abandoned mining site (Gard, France), results in the formation of acid mine waters heavily loaded with arsenic. Dissolved arsenic present in the seepage waters is precipitated by microorganism within the first few meters downstream from the tailing dam. From these effluents, we have isolated and characterized two Gram negative bacteria involved in this bioremediation process: *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Thiomonas* sp. *Acidithiobacillus ferrooxidans* did not oxidize arsenite to arsenate directly or indirectly. It was shown to remove arsenite only when grown on ferrous iron. In fact, this bacterium precipitated arsenite with ferric iron produced by its energy metabolism. *Thiomonas* sp. was shown to oxidize arsenite to arsenate, which is less toxic and less soluble in acidic conditions, for energetic and detoxification purposes. This oxidation is catalyzed by a membrane bound arsenite oxidase. The genes encoding this enzyme belong to an operon the expression of which is induced in the presence of arsenite. In conclusion, we have characterized two bacteria with distinct arsenite resistance mechanisms very efficient in removing arsenite from contaminated acidic waters: (i) the arsenite mineralization with ferric iron mediated by *A. ferrooxidans* and (ii) arsenite to arsenate oxidation by *Thiomonas* sp.

## MECANISMES DE PRECIPITATION DE CARBONATE DE CALCIUM DANS LES BIOFILMS PHOTOSYNTHETIQUES D'UN LAC HYPERSALE PERMANENT (LA LAGUNA DE CHIPRANA, ESPAGNE)

Pascale GAUTRET<sup>(1)</sup>, Rutger DE WIT<sup>(2)</sup>, Patrick ALBERIC<sup>(1)</sup>, Christian DEFARGE<sup>(1)</sup>,  
Estelle MASSERET<sup>(2)</sup>, Thierry BOUVIER<sup>(2)</sup>

- (1) Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), UMR 6113, Université d'Orléans, Bâtiment Géosciences, Rue de Saint Amand, 45067 ORLEANS Cedex 2  
(2) Ecosystèmes lagunaires, UMR 5119, Université Montpellier II, Case 093, Place Eugène Bataillon, 34095 MONTPELLIER Cedex 05

La précipitation de carbonate de calcium dans les systèmes benthiques est souvent associée aux biofilms photosynthétiques, et notamment observée au sein de structures d'une grande complexité morphologique comme les tapis microbiens, les stromatolithes et les microbialithes. Cette biocalcification modifie les flux de CO<sub>2</sub>, de calcium et d'alcalinité dans les hydrosystèmes (séquestration du carbone inorganique et d'alcalinité). Ce processus paraît donc très sensible aux impacts anthropiques, e.g. la perturbation globale du cycle du carbone et les contaminations atmosphériques. Différentes hypothèses ont été avancées pour expliquer la biocalcification dans ces biofilms. L'activité photosynthétique des cyanobactéries est souvent mise en cause, mais ce mécanisme est parfois contesté, privilégiant l'activité métabolique des bactéries organohétérotrophes, e.g. les bactéries sulfato-réductrices, qui sont associées aux micro-organismes phototrophes. La calcification peut aussi être contrôlée directement par l'interaction du calcium avec la matière organique, notamment les polymères extracellulaires sécrétés par les microorganismes (EPS) ou les fractions macromoléculaires riches en acides aspartique et glutamique de la matière organique dissoute (MOD).

Le projet CYANOCARBO vise à élucider les mécanismes de biocalcification dans les biofilms photosynthétiques complexes par une approche multidisciplinaire combinant les études écophysiologique, microbiologique, microstructurale, bio- et biogéochimique. Il s'agit de déterminer si la précipitation de CaCO<sub>3</sub> est due à la photosynthèse ou, alternativement, due à la dégradation de la MO par l'activité des bactéries sulfato-réductrices, ou par l'interaction avec la matière organique (organominéralisation), dans un environnement naturel (unique lac hypersalé permanent en Europe, 'La Laguna de Chiprana', Espagne) et dans différentes conditions expérimentales de culture des biofilms en incubateur.

La démarche couple les études du milieu naturel avec des approches expérimentales (culture de biofilm en microcosme) et fait appel à des techniques d'imagerie et analyse des différents composants (microorganismes, minéraux et composés organiques) du milieu. L'observation au CryoMEB du tapis cyanobactérien (*Microcoleus chthonoplastes*) provenant du lac hypersalé « La Salada de Chiprana » (Espagne) montre les différents états des polymères extracellulaires (EPS) au cours de leur dégradation et les étapes de la calcification dans le réseau microalvéolaire des ces polymères.

Les méthodes mises en œuvre pour la compréhension des processus qui contrôlent cette calcification couvrent un large spectre de compétences en taxinomie, physiologie et écologie des communautés microbiennes, en biochimie des composés impliquées dans les interactions organominérales et font appel à des techniques totalement innovantes dans le contexte de la recherche des processus de CaCO<sub>3</sub> dans les environnements microbiens et l'implication pour le cycle du carbone (culture expérimentale de biofilms photosynthétiques, micro-électrodes à Ca<sup>2+</sup> et pCO<sub>2</sub>, couplage HPLC-IRMS, immuno-histochimie).

**ORIGINE ET REACTIVITE DES MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES  
COMPLEXES : UNE NOUVELLE APPROCHE MOLECULAIRE DES RAPPORTS  
ISOTOPIQUES  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  PAR COUPLAGE IRM-LC/MS**

P. GAUTRET<sup>1</sup>, P. ALBERIC<sup>1</sup>, C. DEFARGE<sup>1</sup>, D. JUCHELKA<sup>2</sup>

(1) Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), UMR 6113 du CNRS, Université d'Orléans, Bâtiment Géosciences, F-45067 Orléans Cedex 2, France

(2) Thermo-Electron Corporation, Brême, Allemagne

Le couplage chromatographie gazeuse-spectrométrie de masse pour les isotopes stables (GC-irmS) a rendu possible l'identification des  $\delta^{13}\text{C}$  sur les composants individuels des matières organiques complexes, apportant une solution au problème de la représentativité des mesures moyennes effectuées sur la MO totale des sédiments, mélange de composés aux sources et évolutions diagénétiques très différentes. Ce couplage s'est révélé intéressant pour le traçage de composés lipidiques, dits « biomarqueurs » mais, lié aux contraintes de la séparation chromatographique en phase gazeuse, il ne permet pas l'étude des biomolécules polaires de masses moléculaires élevées ou des substances dissoutes complexes des eaux naturelles. Le couplage d'une chromatographie liquide et d'un spectromètre de masse pour les isotopes stables (irm-LC/MS) récemment mis au point par la société Thermo Electron, s'avère prometteur pour les Géosciences de l'Environnement. Ce dispositif a été testé sur des glycoprotéines extraites de carbonates microbiens, ainsi que sur des substances humiques dissoutes, extraites d'eau de sols et de mangroves.

*Glycoprotéines des matrices organiques solubles extraites de carbonates microbiens* : La matière organique a été extraite des grains de carbonates précipités dans les tapis microbiens, de mares d'eaux saumâtres (kopara) de l'atoll Hao, Polynésie Française. Les valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  ont été mesurées en mode « Injection globale », sur l'extrait organique total et comparées aux mesures réalisées en ligne avec une séparation par gel filtration. Le matériel organique analysé se décompose en 3 fractions montrant des  $\delta^{13}\text{C}$  très distincts : -17,36‰ pour les composés de masses moléculaires élevées, -27,54‰ pour la fraction intermédiaire, -38,46‰ pour les petites molécules. Les caractéristiques isotopiques de chaque fraction individuelle participent à la composition du signal moyen dans le matériel non-fractionné et seul le  $\delta^{13}\text{C}$  de la fraction de masse moléculaire élevée correspond à celui de la MO cyanobactérienne (EPS et gaines en cours de dégradation).

*Substances humiques dissoutes extraites par interaction hydrophobe (XAD8-XAD4)*

Dans cet exemple, des matières organiques dissoutes (MOD) d'eau de sols hydromorphes (La Châtre, France) et de mangroves (Sepetiba, Brésil), d'abord concentrées et fractionnées en composés hydrophobes acides (XAD8) et hydrophiles acides (XAD4), ont été analysées, comme ci-dessus, en mode « Injection globale » et par couplage gel filtration -irmS. Seule une fraction moléculaire (inférieure à 5KD) a pu être analysée isotopiquement avec ce modèle de colonne (SEC300). On n'observe donc qu'une différence légère entre les valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  des fractions globales et celles des molécules séparées par gel filtration (+1‰ en moyenne). Les fractions plus hydrophiles sont systématiquement enrichies en  $^{13}\text{C}$  (+1‰ également) par rapport aux plus hydrophobes.

Les résultats attestent l'excellente répétitivité et sensibilité du dispositif de couplage irm-LC/MS. Les quantités de MO utilisées auraient été très insuffisantes pour l'obtention de mesures par un spectromètre de masse, dans sa configuration classique



## INSTRUMENT DE CATHODOLUMINESCENCE POUR L'ANALYSE DES SEDIMENTS MARTIENS

Roger THOMAS, Vincent BARBIN, Paul GILLE, Jane MACGIBBON, RICHARD LEVEILLE ,  
Laddawan MIKO, Claire RAMBOZ & Frances WESTALL

Technique ancienne, la **cathodoluminescence** (CL) est une nouvelle venue envisageable pour l'exploration martienne. En particulier, elle contribuera à la caractérisation minéralogique des roches sédimentaires, à la recherche d'éventuels bio-traceurs révélateurs d'une activité biologique, mais aussi à identifier les conditions physico-chimiques passées (pH/Eh, température, etc).

La cathodoluminescence est une méthode de choix dans les domaines de recherche où la dynamique de croissance et l'origine des minéraux sont déterminantes.

La CL consiste à irradier l'échantillon avec un faisceau d'électrons d'énergie 10 à 20 keV, qui induit une luminescence dans le visible. Son analyse spectrale fournit des informations sur la composition minéralogique et permet l'interprétation du processus de croissance des minéraux.

La principale difficulté de mise en œuvre dans l'environnement martien réside dans la présence d'une pression atmosphérique notable, qui gêne la production d'électrons. Pour cela, nous avons développé le concept de « **lampe à électrons** » où leur production, sous vide, est séparée de l'échantillon maintenu à pression atmosphérique, par un hublot transparent aux électrons.

Le premier prototype de lampe à électrons, actuellement en fonctionnement, valide le concept puisque des images de CL ont été obtenues, et que leurs spectres correspondant ne montrent pas de perte de qualité importante. On pourra montrer et discuter quelques exemples d'imagerie et de spectres de CL obtenues avec cette lampe à électrons.

## GEOMICROBIOLOGIE DES MICROBIALITES CARBONATES DU LAC ALCALIN VAN, TURQUIE

K. BENZERARA<sup>1</sup>, Nicolas MENGUY<sup>1</sup>, J. KAZMIERCZAK<sup>2</sup>, D. MOREIRA<sup>3</sup>, Gordon E.  
BROWN, Jr.<sup>4</sup>, F. GUYOT<sup>1</sup> et P. LOPEZ-GARCIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Minéralogie-Cristallographie, UMR 7590 CNRS and Institut de Physique du  
Globe de Paris, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex, France

<sup>2</sup>Institute of Paleobiology, Polish Academy of Sciences, Twarda 51/55, 00818 Warsaw,  
Poland

<sup>3</sup>Unité d'Ecologie, Systématique et Evolution, UMR CNRS 8079, Université Paris-Sud,  
91405 Orsay Cedex, France

<sup>4</sup>Surface & Aqueous Geochemistry Group, Department of Geological and Environmental  
Sciences, Stanford University, Stanford, CA 94305-2115, USA

Le rôle des microorganismes dans la précipitation des carbonates et la formation de microbialites et stromatolites, structures sédimentaires associées à des communautés microbiennes, n'est pas encore bien défini. Le lac Van, dans la région du Kurdistan, Turquie, est un système alcalin (pH ~9.7) qui abrite les microbialites actuels les plus larges connus, pouvant atteindre jusqu'à 40 m de hauteur. Les carbonates précipitent au niveau de résurgences d'eaux souterraines riches en Ca<sup>2+</sup> qui entrent en contact avec l'eau du lac de pH élevé. Les carbonates sont très finement divisés (texture micritique) et, à l'échelle microscopique, ils sont généralement composés de nanocristaux d'aragonite arrondis qui ressemblent aux structures de type "nanobactérie" observées dans certains stromatolites et météorites, dont ALH84001. Afin de mieux comprendre l'influence des microorganismes dans la formation de ces structures, nous avons combiné les méthodes de microscopie électronique en transmission (MET) et microscopie X (STXM) avec des méthodes moléculaires de caractérisation de la diversité microbienne associée à ces microbialites. Nos résultats montrent qu'une diversité assez large de bactéries est présente dans les microbialites, avec des cyanobactéries et des membres du group CFB seulement présents dans la couche superficielle, alors que le groupe le plus abondant et le plus divers dans l'épaisseur de la structure est celui des Firmicutes (bactéries Gram positives à bas GC). Grâce à la combinaison du MET et du STXM, nous avons pu détecter la présence de microorganismes encapsulés dans la matrice minérale et des composés organiques de type polysaccharide répandus et intimement associés aux cristaux d'aragonite. Ces cristaux sont entourés d'une couche de carbonate de calcium amorphe. L'ensemble des observations suggère un rôle non négligeable des microorganismes dans la précipitation de ces carbonates et surtout dans l'acquisition d'une texture minérale très particulière.

**FOSSILISATION EXPERIMENTALE DE BACTERIES : APPUI A  
L'IDENTIFICATION DE SIGNATURES MICROBIOLOGIQUES TERRESTRES ET  
EXTRATERRESTRES**

F. ORANGE<sup>1,2</sup>, F. WESTALL<sup>1</sup>, J.-R. DISNAR<sup>2</sup>, D. PRIEUR<sup>3</sup>, C. DEFARGE<sup>2</sup>

1. Centre de Biophysique Moléculaire, CNRS, Rue Charles Sadron, 45071 Orléans Cedex 02  
([orange@cnrs-orleans.fr](mailto:orange@cnrs-orleans.fr))
2. Institut de Sciences de la Terre d'Orléans, Bâtiment Géosciences, Université d'Orléans  
BP 6759, 45067 Orléans Cedex 2
3. Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, Technopôle  
Brest-Iroise, 29280 Plouzané (France)

Les premières formes de vie connues à ce jour (> 3 Ga) ont été préservées grâce à la précipitation de silice dissoute sur les structures cellulaires (silicification). Afin de mieux comprendre le mécanisme de la silicification, nous avons menés la silicification expérimentale de différents micro-organismes.

Nous avons choisi, dans un premier temps, de travailler avec *Methanococcus jannaschii* (Archée méthanogène hyperthermophile). Il s'agit de la première fossilisation expérimentale d'une Archée, et l'une des toutes premières concernant des micro-organismes thermophiles.

La silicification de *M. jannaschii* a été suivie sur plusieurs mois, avec étude au cours du temps de la morphologie des cellules et des biofilms en microscopie électronique, mais également avec le suivi de l'évolution de la matière organique (lipides, acide aminés, sucres) au cours de la fossilisation (par GC, GC-MS et HPLC).

Les observations ont montré que seuls les EPS ont été bien préservés par la fossilisation. Les cellules mêmes de *M. jannaschii* n'ont pas été silicifiées. Cela pourrait signifier que la paroi de *M. jannaschii* ne serait pas capable de fixer la silice.

Les précédentes fossilisations expérimentales ont montré que plusieurs types de micro-organismes (Cyanobactéries, Bactéries) peuvent être préservés et fossilisés dans la silice. Cela impliquerait que certains types de micro-organismes ont une meilleure capacité que d'autres à être préservés dans les enregistrements fossiles.

Actuellement, la silicification expérimentale d'autres souches d'Archées et de Bactéries thermophiles est en cours, afin de mieux comprendre les phénomènes intervenant lors de cette fossilisation, et d'apprécier la capacité des micro-organismes à être fossilisés.

Ces expérimentations fournissent un bon aperçu des processus de silicification et de préservation des micro-organismes qui auraient pu exister sur la Terre primitive. La connaissance de ces mécanismes peut être utile pour la recherche et l'identification de microfossiles dans les roches terrestres et extraterrestres, tout particulièrement dans le cas de Mars.

## A LA RECHERCHE DE LA VIE DANS LE LAC SOUS-GLACIAIRE DE VOSTOK (ANTARCTIQUE).

J.R. PETIT<sup>1</sup>, S. BULAT<sup>1,2</sup>, I. ALEKHINA<sup>1,2</sup>, C. LAVIRE<sup>3</sup>, P. NORMAND<sup>3</sup>, D. PRIEUR<sup>4</sup>

<sup>1</sup> LGGE, 38402 St Martin d'Hères Cedex

<sup>2</sup> Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, 188300 Russie

<sup>3</sup> Ecologie Microbienne, Université Claude Bernard, Lyon 1, 69622 Villeurbanne cedex

<sup>4</sup> IUEM, 29280 Plouzané

La station Russe de Vostok en Antarctique de l'Est a été installée en 1957 au moment de l'année géophysique internationale, à 3500 m d'altitude au pôle géomagnétique sud. Sous les 3750 m de glace on a découvert en 1993, le plus grand lac sous glaciaire parmi les 150 détectés à ce jour. Le lac Vostok a la superficie de la Corse, est profond de plus de 1200 m et sans doute devait-il exister bien avant que l'Antarctique ne s'englace il y a environ 35 millions d'années ?

Le lac est isolé de notre environnement et il est devenu un milieu extrême pour la vie : privé de lumière, sous une pression de 400 atmosphères, une température de  $-2.8^{\circ}\text{C}$ . Les eaux sont renouvelées par la fusion du glacier réputé très pauvre en impuretés minérales et en matière organique. Le milieu est devenu oligotrophe et peut être super oxydant avec l'oxygène des bulles d'air de la glace qui fond et qui s'accumulerait dans les eaux.

Un forage de 3650 m dans la glace réalisé autour d'une collaboration Russie-USA-France pour les études climatiques a été arrêté à 100 m de l'interface liquide. Le carottage a pénétré une couche de glace provenant du gel de l'eau du lac, et collée sous le glacier (glace d'accrétion) ouvrant ainsi une petite fenêtre sur ce milieu inconnu.

Les chercheurs américains ont publié rapidement leurs premiers résultats en suggérant la présence d'une abondante activité bactérienne, finalement comparable à celle d'un lac ouvert des vallées sèches de l'Antarctique. Ces résultats n'ont pas été confirmés et on sait maintenant que la glace est très pauvre, le milieu très dilué, rendant les questions de contamination directe très critiques.

Les résultats récents obtenus dans le cadre d'une collaboration Franco Russe, ont été conduits de sorte à réduire ou pour le moins reconnaître les contaminations, une approche décuplant les analyses et les contrôles nécessaires. Au final, les résultats donnent une vue très différente avec un milieu très dilué et la présence de vie associée à une activité hydrothermale localisée dans les fissures profondes ou les sédiments, alors que les eaux du lac seraient proches de la stérilité. La détection de l'empreinte de l'ADNr 16S d'une bactérie thermophile existant dans les sources chaudes comme le geyser de Yellowstone, ou la ride médio-Atlantique, semble maintenant confirmée par la biologie moléculaire (détection de gène spécifique). Par ailleurs la contribution de sources hydrothermales au lac Vostok est suggérée par des indices géotectoniques enregistrés ou par les propriétés géochimiques de la glace.

## ATELIER BIOMARQUEURS ET BIO-SIGNATURES

ALEKINA I.<sup>1&10</sup>, BENZERARA K.<sup>2</sup>, BULAT S.<sup>1&10</sup>, DERENNE S.<sup>3</sup>, DOBRIJEVIC M.<sup>4</sup>,  
ENGRAND C.<sup>5</sup>, FORTIN D.<sup>6</sup>, GARGAUD M.<sup>4</sup>, JAVAUX E.<sup>7</sup>, MUSTIN C.<sup>8</sup>, PASCAL R.<sup>9</sup>,  
PETIT J-R.<sup>10</sup>, REISSE J.<sup>11</sup>, VANDENABEELE-TRAMBOUZE O.<sup>9</sup>

1 Petersburg Nuclear Physics Institute RAS, St. Petersburg, Russian Federation

2 Institut de Minéralogie et de Physique des Milieux Condensés et Institut de Physique du Globe de Paris, Paris

3 Laboratoire de Chimie Bioorganique et Organique Physique, UMR CNRS 7618, ENSCP, Paris

4 Laboratoire d'Astrodynamique, d'Astrophysique et d'Aéronomie de Bordeaux (L3AB), UMR 5804, Floirac, France

5 Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse, CNRS-IN2P3, Orsay, France

6 Dept. Earth Sciences, University of Ottawa, Ottawa, Canada

7 Unité de Paléobotanique-Paléopalynologie-Micropaléontologie, Département de Géologie, Université de Liège, Belgique

8 Laboratoire des Interactions Microorganismes-Minéraux-Matière Organique dans les Sols, UMR-CNRS 7137, Vandoeuvre-les-Nancy, France

9 Laboratoire « Organisation Moléculaire Evolution et Matériaux Fluorés » UMR-CNRS 5073, Montpellier, France

10 Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement -CNRS, Saint Martin d'Herès, France

11 Molecular and Biomolecular Engineering, Faculté des Sciences Appliquées, Université Libre de Bruxelles, Belgique

Le Groupement de Recherche en Exobiologie et le Centre National d'Etude Spatial ont soutenu l'organisation d'un « atelier Biomarqueur et Bio-Signatures » qui s'est déroulé à Dourdan les 22-24 Mars 2006 (F. Raulin et M. Viso respectivement représentant le GDR et le CNES étaient présents à l'atelier ou a ses conclusions).

L'objectif de cet atelier était d'initier une réflexion scientifique sur le thème des biomarqueurs et bio-signatures de vie passée ou présente, en abordant les problèmes de définition, de méthodologie, de faux positifs, d'univocité des marqueurs et des problèmes liés à la connaissance du contexte. Pour travailler sur ce thème, nous avons mené une approche pluridisciplinaire réunissant des chercheurs francophones. L'atelier a permis d'avancer sur les problèmes de définitions ainsi que sur les problèmes de méthodologie, notamment concernant l'interprétation des résultats. L'univocité des signatures en fonction du contexte et des connaissances actuelles en chimie prébiotique et/ou interstellaire a également été débattue. Les premières conclusions de cet atelier ont mis en évidence la nécessité d'effectuer un second atelier fin 2006 en l'ouvrant à un plus grand nombre de participants et de communiquer, notamment à l'EANA les premières réflexions de ce groupe pour un échange au niveau international.

## L'EXOBILOGIE AU CENTRE DE BIOPHYSIQUE MOLECULAIRE : LES DEBUTS DE LA VIE SUR TERRE ET SUR MARS

Frances WESTALL, André BRACK, Bernard BARBIER, Annie CHABIN, Marylène  
BERTRAND, Philippe LABROT, François ORANGE  
Centre de Biophysique Moléculaire, CNRS, Orléans

La thématique de l'équipe Exobiologie porte sur la recherche des origines de la vie et des premières traces de vie sur Terre et sur Mars. Les différentes activités sont liées les unes aux autres et portent soit sur l'étude de l'origine extraterrestre des briques du vivant, soit sur les connaissances nécessaires à la reconnaissance de traces de vie dans des roches en vue des prochaines missions martiennes (ExoMars, 2011; Mars Sample Return à l'horizon 2020). Le sujet «Exobiologie» a connu un intérêt national et international considérable depuis les cinq dernières années et notre groupe est fortement reconnu au plan national.

Les activités pendant les quatre dernières années se découpent comme suit:

1. *Formation des briques de la vie:* La stabilité des acides aminés soumis aux conditions de l'espace et à l'impact météoritique a été étudiée afin de vérifier une possible origine extraterrestre de certains acides aminés synthétisés dans l'espace interstellaire, et apportés sur Terre via les météorites ou micrométéorites. Des échantillons destinés à la Station Spatiale Internationale (ISS) sont actuellement préparés (expérience EXPOSE-R). Une chambre d'irradiation reproduisant les conditions de vide et d'irradiation de l'espace a été assemblée et permettra de tester en laboratoire les échantillons qui seront exposés sur l'ISS. Une autre expérience simulant l'impact de météorites avec des acides aminés (collaboration NASA-Johnson Space Center à Houston) a démontré que les acides aminés subissent une dégradation et une racémisation qui augmentent avec la pression appliquée (ce sujet a demandé la mise au point de méthodes d'extraction et de dérivation pour GC-MS).

2. *Premières traces de vie sur la Terre:* Les études pluridisciplinaires menées en collaboration avec plusieurs groupes en France et d'autres pays et coordonnées par F. Westall, ont clairement démontré l'existence de vie microbienne dans les sédiments les plus anciens (~3,5 milliard d'années). La démarche adoptée constitue un protocole de référence pour ce genre de recherche. De plus, ces études apportent une meilleure connaissance de l'évolution de la vie à cette période.

3. *Compréhension du mécanisme de fossilisation:* Une thèse (collaboration ISTO-Orléans et LMEE-Brest) portant sur la fossilisation de microorganismes semblables à ceux de la Terre primitive est en cours. L'approche consiste à fossiliser en laboratoire des bactéries extrémophiles à l'aide de minéraux tels que la silice et le carbonate de calcium, en suivant en parallèle 1) la morphologie des cellules fossilisées 2) l'altération / préservation des principales molécules organiques (acides aminés, lipides et saccharides) pendant la fossilisation et pendant le métamorphisme simulé.

4. *Méthodes innovatrices pour l'étude des traces de vie dans les roches:* Une thèse (CNES/Région Centre) portant sur l'étude de microfossiles précambriens par microscopie à force atomique (AFM) est en cours. Un protocole d'analyse novateur a été mis en place, et une série de mesures impliquant une large batterie d'instruments (AFM, micro-spectrométrie Raman, micro-imagerie X synchrotron, microscopie électronique à transmission haute-résolution après découpe FIB) a permis de dresser une image aussi complète que possible des microfossiles étudiés. Une étude extrêmement innovatrice, utilisant le microscope AFM dans le mode de force chimique, est également conduite au CBM.

5. *La recherche de traces de vie sur Mars:* Dans le cadre de l'expérience STONE-5 (menée sous la direction du Groupe Exobiologie, Orléans), des roches analogues de sédiments martiens, chargées de bactéries cryptoendolithiques, ainsi que de spores de bactéries et de champignons, ont été exposées au phénomène d'entrée atmosphérique, enchâssées dans le bouclier thermique d'un satellite automatique russe. Il a été montré que les roches sédimentaires résistent au choc thermique, à l'inverse des microorganismes qu'elles hébergent. De plus, le groupe Exobiologie du CBM assure la direction d'un projet portant sur la fourniture d'un microscope pour la prochaine mission européenne martienne (EXOMARS) proposée par l'Agence Spatiale Européenne.

## EARTH VEGETATION AS A GLOBAL SIGNATURE

Luc ARNOLD

Observatoire de Haute-Provence (OHP), CNRS, St-Michel-l'Observatoire

The detection of exolife is one of the goals of future very ambitious space missions or extremely large ground-based telescopes aimed to make direct images of Earth-like planets. We analyse here the detectability of vegetation presents at a global scale on Earth's ground. Considering its specific reflectance spectrum showing a sharp edge around 700 nm, vegetation can be considered as a potential global biomarker and this work, based on observational data, aims to characterise and quantify this signature in the disk-averaged Earth's spectrum

Earthshine spectra have been used to test the detectability of the "Vegetation Red Edge" (VRE) on an Earth-like exoplanet. We obtained reflectance spectra from near UV (320 nm) to near IR (1020 nm) for different Earth phases (continents or oceans seen from the Moon) with EMMI on the NTT at ESO/La Silla, Chile in 2004 and 2005. We developed a procedure to accurately correct the sky background and also to take into account the phase-dependent colour of the Moon.

The Vegetation Red Edge is observed when lands with forests are present ( $4.0 \pm 0.5\%$  for Africa and Europe), and is lower when clouds and oceans are mainly visible ( $1.3 \pm 0.5\%$  for the Pacific Ocean). These measurements are lower than those obtained in 2001 (Arnold et al. 2002). We discuss the different sources of errors or bias on these measurements and suggest possible improvements. We also present first results of simulated Earth disk-averaged spectra based on GOME data.

We showed that the VRE required a photometric relative accuracy of 1% or better to be seen. The VRE remains a small feature compared to atmospheric absorption lines. A direct monitoring from space of the disk-averaged Earth's spectrum would provide the best VRE follow-up.

Arnold, L. et al. (2002), *A&A* 392(1), 231-237.

## EXOPLANETES DE TYPE TERRESTRE : LEUR POSSIBLE DIVERSITE

A.LEGER, D. DESPOIS, F.WESTALL, F.SELDIS

et toute l'equipe Planètes-Océans

( B. CHAZELAS, D. MAWET, M. OLLIVIER, C. SOTIN, O. GRASSET, J. KASTING, P. BORDE, F. BRACHEt, A. LABEQUE, D. EHRENREICH, C. MOUTOU, M.DELEUIL, F. BOUCHY, J.M. GRIESSMEIER, H. LAMMER)

Une des principales leçons que l'on peut tirer de la détection des planètes géantes extrasolaires est la grande diversité de ces objets. Le système solaire n'est clairement pas l'archétype de tous les systèmes planétaires de notre Galaxie. Il est possible que la situation pour les planètes extrasolaires de type terrestre soit similaire. Nous illustrons ceci avec deux exemples, les planètes-océans et les jeunes systèmes planétaires.

### *Les Planètes-Océans*

Ces objets se formeraient plus loin que la ligne de glace dans les disques protoplanétaires, et migreraient dans la zone habitable de leur étoile. En masse, elle contiennent typiquement 50% de roches et 50% de glaces, principalement de la glace de H<sub>2</sub>O. Un océan gigantesque couvre toute la surface, à l'exception de possibles calottes polaires. Ces planètes sont semblables aux satellites joviens mais sont significativement plus grosses (1-10 M<sub>Terre</sub>) et plus chaudes. Tout comme les jupiters chauds, ces planètes n'ont pas d'équivalent dans le système solaire. Mais notre compréhension actuelle de la formation planétaire et de la migration suggère leur possible (probable?) existence.

Nous montrons que plusieurs de leurs propriétés, par exemple leur structure interne et leur relation masse-rayon peut être anticipée. Le but est d'éviter de se retrouver dans une situation similaire à celle que nous avons connue lors de la découverte de la première exoplanète géante (51 Peg), qui avait des propriétés totalement inattendues, bien que les outils théoriques pour prédire la migration planétaire soient disponibles.

Ces objets pourraient être détectables pour certains avec Corot ou Kepler et sont des cibles potentielles pour Darwin et TPF.

### *Jeunes systèmes planétaires*

La liste des cibles possibles pour une mission comme Darwin contient typiquement 200 étoiles, parmi lesquelles environ 20 ont un âge inférieur à 0.5 Gyr. Rechercher des planètes autour d'elles, puis en réaliser la spectroscopie est d'un grand intérêt. Si certaines d'entre elles ont des planètes terrestres autour d'elles, cela donnerait une opportunité remarquable de déterminer la composition atmosphérique de planètes jeunes, et en particulier la présence ou l'absence de gaz clés comme CH<sub>4</sub>.

La connexion avec la terre primitive et mars primitif serait d'un grand intérêt. Cette comparaison avec les jeunes exoplanètes est probablement la seule façon que nous ayons d'obtenir des indications sur la composition atmosphérique des planètes du jeune système solaire, avec des implications importantes pour les scénarios d'émergence de la vie sur notre planète. Il semble en effet que nous n'ayons pas d'indicateur fossile de la composition atmosphérique ancienne, au moins sur terre.



## BIOMARKERS IN THE TRANSMISSION SPECTRUM OF EARTH-SIZE TRANSITING PLANETS

D. EHRENREICH (1), G. TINETTI (1,2), A. LECAVELIER des ETANGS (1), A. VIDAL-  
MADJAR (1), and F. SELSIS (3)

(1) Institut d'Astrophysique de Paris (contact: [ehrenreich@iap.fr](mailto:ehrenreich@iap.fr))

(2) European Space Agency

(3) Centre de Recherche Astronomique de Lyon

When a star is partly occulted by one of its planet (a transit), the stellar light filters through the planetary atmosphere. The resulting transmission spectrum can therefore reveal both the presence of the atmosphere and its composition. We built up a model to simulate such a transmission spectrum from the ultraviolet to the near infrared.

We discuss the detectability of some 'biomarkers', namely, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and CO<sub>2</sub>, present in the atmosphere of a variety of plausible planets. We evaluate the impact of the spectral type of the star on the detection of the atmosphere. We estimate the mirror effective size needed to achieve the detection of the atmosphere with a space telescope, and how many targets we can expect using this technique. The atmospheres of a few Earth-like planets can be detected with a 30-40m telescope. The detection of the extensive atmospheres of tens of small satellites of giant exoplanets and hundreds of hypothetical ocean-planets can be achieved with 20-30m and 10-20m instruments, respectively, provided all these planets are frequent and they are efficiently surveyed.

**PARADOXE DE FERMI ET RECHERCHE D'INTELLIGENCES  
EXTRATERRESTRES : QUE FAIRE EN FRANCE ?**

A. LABEQUE, E. PIOTELAT, Didier DESPOIS, Luc ARNOLD, Jean-Pierre ROSPARS,  
Florence RAULIN-CERCEAU

Nous proposons la création, au sein de la structure qui succèdera au GDR Exobio, d'un Groupe de Réflexion sur la Recherche d'Intelligences Extraterrestres (GRRIE). Ce groupe aurait pour mission de participer à l'effort international dans ce domaine, et de développer des thématiques nouvelles. Un bref historique des activités SETI dans le monde est dressé, puis une approche des objectifs, de la constitution et du financement de ce groupe est proposée.

## ETUDE DE NOUVEAUX AGENTS DE DERIVATION DES ACIDES AMINES POUR L'ANALYSE *IN SITU*.

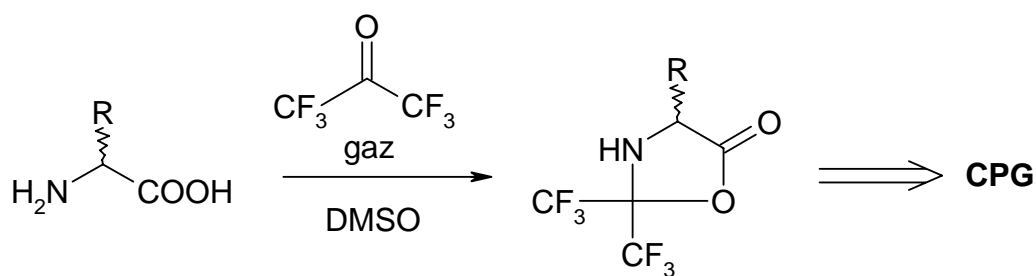
Claude RODIER et Sébastien PAPOT

UMR 6514 : Synthèse et Réactivité des Substances Naturelles, Université de Poitiers et  
CNRS,  
40, Av. du Recteur Pineau, F-86022 Poitiers, France.

La recherche de traces de vie extraterrestre est l'un des plus passionnants défis de la science. A l'échelle moléculaire, la découverte sur une autre planète d'éléments constituant l'un des matériaux de base de tous les êtres vivants, tels que les acides aminés, serait d'une importance capitale pour tenter de percer le mystère des origines de la vie.

La Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG) est un instrument de choix pour l'analyse *in situ* de molécules organiques. En effet, largement utilisée dans l'instrumentation spatiale dans le passé et le présent, elle présente l'avantage de pouvoir être aisément couplée d'une part (en amont) à un système de préparation de l'échantillon (préconcentration, réacteur chimique) et d'autre part à un système de détection approprié. La dérivation chimique représente une étape clé dans l'analyse par chromatographie en phase gazeuse des molécules organiques et particulièrement des acides aminés.

Nous développons actuellement une nouvelle méthode de dérivation à base d'hexafluoroacétone répondant aux problématiques d'analyses *in situ*: obtention d'un agent stable permettant en une étape spatialisable l'analyse du plus grand nombre d'acides aminés. Les premiers résultats obtenus au cours de cette étude seront présentés.



## ETUDE D'EQUIVALENTS D'AEROSOLS DE TITAN ET DE LEUR MODE DE FORMATION PAR PLASMA RADIO

C. SZOPA<sup>1</sup>, G. CERNOGORA<sup>1</sup>, J.-M. BERNARD<sup>2</sup>, E. QUIRICO<sup>2</sup>, M. CAVARROC<sup>3</sup> L.  
BOUFENDI<sup>3</sup>, P. COLL<sup>4</sup>

1) Service d'Aéronomie IPSL 91371 Verrières le Buisson, 2) Laboratoire de Planétologie  
de Grenoble, 3) GREMI 4500 Orléans Cedex 2, 4) LISA, 94000 Créteil

L'atmosphère de Titan, satellite de Saturne, est composée essentiellement d'azote avec une faible proportion de méthane (~2%). Dans cette atmosphère, des réactions de photochimie produisent des aérosols solides qui rendent l'atmosphère de Titan opaque et donnent à ce satellite sa couleur jaune orangé caractéristique. Ces aérosols jouent un rôle important pour le climat du satellite en interagissant avec le rayonnement solaire, mais ils présentent également un intérêt fort pour l'exo/astrobiologie puisqu'ils sont vraisemblablement constitués des composés organiques les plus complexes de l'atmosphère de Titan. De plus, les mécanismes de production de ces matériaux organiques pourraient avoir pris place sur la Terre primitive, et ainsi, participer à la production des molécules précurseurs des briques chimiques du vivant. Seulement, peu d'informations directes existent sur ces aérosols même si depuis 2 ans, des informations précieuses ont été apportées par les mesures spectrales de la sonde Cassini et les diverses mesure in situ de la sonde Huygens descendue dans l'atmosphère de Titan. L'essentiel des informations liés aux aérosols et à leur mode de production touche leurs propriétés spectrales (dans l'atmosphère, à la surface), une partie de leur composition chimique et la composition de l'atmosphère.

Pour interpréter au mieux ces résultats, ainsi que pour mieux comprendre les propriétés d'ensemble et les modes de production de ces aérosols, nous simulons en laboratoire la production d'analogues de ces aérosols solides (appelés tholins) à l'aide d'un plasma RF à couplage capacitif, appelé PAMPRE. Ce plasma est confiné par une cage métallique, et la décharge utilisée fonctionne dans un mélange gazeux représentatif de l'atmosphère de Titan. Ce plasma, comparativement à d'autres expériences de production de tholins, possède l'avantage de les produire en lévitation dans la décharge et ainsi, s'affranchir d'éventuels effets de paroi, et également pouvoir étudier les modes de croissance dans le plasma.

Les tholins produits sont éjectés hors du plasma et collectés dans un récipient en verre. Leurs propriétés ont été déterminés à partir de plusieurs techniques analytiques qui permettent de remonter à des informations physiques (propriétés optiques, morphologie) et chimiques (composition élémentaire, moléculaire, isotopique). Ces propriétés ont été analysées en fonction des caractéristiques du plasma pour évaluer l'influence des différents paramètres expérimentaux sur la nature des tholins. En parallèle, les propriétés du plasma ont été déterminées à l'aide de la spectroscopie optique d'émission et de caractéristiques électriques du plasma. Enfin, ces tholins servent également de matériau de calibration pour certaines expériences de la sonde Huygens en vue d'aider au traitement des données recueillies par la sonde.

Nous présentons ici les résultats obtenus à ce jour sur la nature des tholins produits avec l'expérience PAMPRE, ainsi que la caractérisation de leur mode de production à l'aide des diagnostics plasma. Une fois que nous aurons obtenu un jeu exhaustif de données sur les tholins et l'environnement dans lequel ils sont produits, nous viserons à transposer les résultats de laboratoire à l'atmosphère de Titan.

C. Szopa, , G. Cernogora, , L. Boufendi, , J.-J. Correia and P. Coll, PAMPRE: *A dusty plasma experiment for Titan's tholins production and study*, Planetary and Space Science, (2006) 54, 394-404.

## RECHERCHE DE VIE PASSEE/PRESENTE SUR MARS : ETUDES DE BIOMARQUEURS ORGANIQUE, LE PROJET M.O.M.I.E

STALPORT F., COLL P., SZOPA C., RAULIN F.

La vie sur Mars reste à ce jour une question ouverte en effet nous ne disposons pas encore de données suffisantes concernant son éventuelle apparition passée et de sa présence actuelle car seuls les landers Viking dans les années 70 et l'étude de la météorite ALH84001 découverte en antarctique avaient pour vocation la recherche de l'existence d'une activité biologique martienne. Dans les deux cas les réponses apportées n'ont pas été franches : les résultats des expériences des landers Viking pouvaient à la fois être expliqués par la présence de vie et par des processus purement abiotiques, de plus aucune molécule organique n'a été détectée dans les limites de détection des appareils des landers. Plusieurs biomarqueurs potentiellement martiens étaient présents dans la météorite ALH84001 mais ils avaient tous une explication abiotique, de plus rien n'excluait une contamination terrestre. Cependant les données récentes de l'orbiteur Mars Express et des rovers jumeaux Spirit et Opportunity indiquent un environnement passé favorable à la présence d'eau liquide stable en surface, ce qui relance la question de l'apparition de la vie sur Mars

Nous proposons dans le cadre d'une mission spatiale d'analyse in situ à vocation exobiologique d'identifier différents biomarqueurs organiques. Ces biomarqueurs organiques concernent les molécules organiques susceptibles d'être présentes sur Mars via la contribution du milieu interplanétaire (micrométéorites, météorites) c'est à dire les molécules organiques exogènes, mais aussi via des molécules organiques endogènes fossiles de potentielles formes de vie passée et/ou présente martiennes. La recherche de ces molécules organiques endogènes se révèle d'une grande importance car certaines comme les hopanes sont capables de résister à la dégradation propre aux conditions terrestres sur des périodes de plusieurs milliards d'années.

Il apparaît donc que des molécules organiques sont susceptibles d'être présentes à la surface de Mars même si certaines ont pu subir une évolution chimique partielle ou totale. Dans le cadre de la recherche de molécules organiques par de futures expériences spatiales, nous avons développé le projet M.O.M.I.E (Mars Organic Molecules Irradiation and Evolution) afin de déterminer comment ces molécules évoluent et celles qui résistent aux conditions actuelles de surface de Mars (flux UV, oxydation). Ce projet se développe autour d'un dispositif expérimental simulant les conditions de surface de Mars le plus fidèlement possible. Nous disposons d'une lampe à Xénon à haute pression dont le spectre et le flux lumineux sont très proches de ceux simulés à la surface de Mars et d'un dispositif refroidissant les divers échantillons mis sous vide à une température autour de  $-60^{\circ}\text{C}$  ce qui correspond à la température moyenne en surface.

## LES MACRO- ET MICRO-ENVIRONNEMENTS HABITABLES DE MARS

F. WESTALL (CNRS-Orléans), G. SOUTHAM (Univ. S. Ontario, Canada), T. SPOHN  
(DLR-Berlin)

Les conditions d'habitabilité sur Mars et sur la Terre présentaient les mêmes exigences : la présence d'eau liquide et de nutriments carbonés (CHONPS) ainsi que des sources d'énergie. Les jeunes planètes possédaient en abondance nutriments carbonés et sources d'énergie (chimique, hydrothermale, lumière) mais l'eau liquide constituait la contrainte limitante. D'abord, la température de l'eau devait être inférieure à ~80°C pour permettre l'association des macromolécules importante préalable à la formation des premières cellules. Selon ces critères, la Terre était susceptible d'accueillir la première vie il y a environ 4.4 Ga, quand il y avait des océans à la surface. Mars, plus petite que la Terre, s'est refroidie plus rapidement et fut « habitable » avant la Terre. Cependant, les données fournies par les orbiteurs et les robots à la surface de Mars durant ces dix dernières années donnent l'impression que la planète a eu une relative abondance (sans aller jusqu'à de grands océans) d'eau liquide très tôt dans son histoire, mais qu'elle l'a perdue rapidement, il y a 4.0-3.8 Ga.

La vie terrestre est apparue sur une planète couverte d'eau mais un océan est-il nécessaire pour que la vie apparaisse? Combien d'eau faut-il et pour combien de temps? Lazcano et Miller (1994) ont estimé qu'il doit falloir environ 10 Ma pour passer de la matière primaire inerte à l'apparition de la première cellule. Il a dû y avoir plusieurs endroits sur la jeune Mars où l'eau est restée stable suffisamment longtemps pour que la vie puisse y apparaître, peut-être même des sites isolés les uns des autres, ce qui a pu produire une certaine hétérogénéité dans la vie martienne.

Au regard des organismes, la dimension de l'environnement disponible n'a que peu d'importance. Les cellules sont en générale petites ( $\leq 1 \mu\text{m}$ ), donc un micro-environnement des quelques dizaines de microns est suffisant, tant que les nutriments et l'énergie sont accessibles en permanence. Sur la Terre primitive, de tels environnements étaient représentés par les pores entre les grains de sédiments immergés dans l'eau et les surfaces des roches immergées (Westall et al., 2006; Westall and Southam, 2006). De plus, les surfaces des sédiments dans les zones photiques présentaient des habitats idéaux pour les matras bactériennes. Cependant, bien que la vie primitive sur la jeune Terre ait été déjà bien répandue, ses manifestations sont subtiles à cause de la grande dispersion des traces de cette vie. Ces traces sont donc difficiles à détecter sans l'aide d'instruments puissants, ce qui pose de fortes contraintes quant à l'étude *in situ* de la vie fossile et présente sur Mars. Le retour d'échantillons de Mars sera très important afin de pouvoir établir sans ambiguïté s'il y avait, ou s'il subsiste, de la vie sur la planète rouge.

Lazcano A, Miller SL (1994) How long did it take for life to begin and to evolve to cyanobacteria? *J. Molec. Evol.* 36: 546-554.

Westall, F., et al. (2006), The 3.466 Ga Kitty's Gap Chert, an Early Archaean microbial ecosystem, in Reimold, W.U. and Gibson, R., *Processes on the Early Earth, Geol. Soc. Amer. Sp. Paper.* **405**, 105-131.

Westall, F., Southam, G. Early life on Earth. In: Benn, K. et al. (Eds.) *Archean Geodynamic Processes*, AGU Monograph 164, 283-304.