

BULLETIN N° 169
ACADÉMIE EUROPEENNE
INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du mardi 13 novembre 2012:
ASSEMBLÉE GÉNÉRALE AEIS
Réflexions sur la Thématique d'un futur Colloque
Réflexions sur les perspectives de publication des actes de nos colloques

Prochaine séance :
mardi 11 décembre à 17h30 Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris

Conférence d' André BRACK

Directeur de recherche honoraire au CNRS /Centre de biophysique moléculaire du CNRS-Orléans.

Membre d'honneur de l'Institut d'Astrobiologie de la NASA
et de la Société Internationale pour l'Etude de l'Origine de la Vie.

Président d'honneur du Réseau Européen d'Astrobiologie

« De l'origine de la vie sur Terre à la vie dans l'Univers »

Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences
Siège Social : Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme 54, bd Raspail 75006 Paris
Nouveau Site Web : <http://www.science-inter.com>

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES

FONDATION DE LA MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME

PRESIDENT : Pr Victor MASTRANGELO
VICE PRESIDENT : Pr Jean-Pierre FRANÇOISE
SECRETAIRE GENERAL : Irène HERPE-LITWIN
TRESORIER GENERAL : Claude ELBAZ

MEMBRE S CONSULTATIFS DU CA :
 Gilbert BELAUBRE
 François BEGON
 Bruno BLONDEL
 Patrice CROSSA-REYNAUD
 Michel GONDRAN

SECTION DE NICE :
PRESIDENT : Doyen René DARS

PRESIDENT FONDATEUR : Dr. Lucien LEVY (†)
PRESIDENT D'HONNEUR : Gilbert BELAUBRE
SECRETAIRE GENERAL D'HONNEUR : Pr. P. LIACOPOULOS (†)

CONSEILLERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUDJI
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNIQUES : Pr Brigitte DEBUIRE

CONSEILLERS SPECIAUX :
EDITION : Pr Robert FRANCK
AFFAIRES EUROPEENNES : Pr Jean SCHMETS

SECTION DE NANCY :
PRESIDENT : Pr Pierre NABET

novembre 2012

N°169

TABLE DES MATIERES

- P. 03 Compte-rendu de la séance du mardi 13 novembre 2012
- p.14 Compte-rendu de la section Nice Côte d'Azur du 18 octobre 2012
- P.16 Annonces
- P.18 Documents

Prochaine séance:

mardi 11 décembre à 17h30 Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris

Conférence d' André BRACK

Directeur de recherche honoraire au CNRS /Centre de biophysique moléculaire du CNRS-Orléans.

Membre d'honneur de l'Institut d'Astrobiologie de la NASA
 et de la Société Internationale pour l'Etude de l'Origine de la Vie.

Président d'honneur du Réseau Européen d'Astrobiologie

« De l'origine de la vie sur Terre à la vie dans l'Univers »

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

Séance du

Mardi 13 novembre 2012

Institut Henri Poincaré à 16heures salle 201.

La séance est ouverte à 16h sous la Présidence de Victor MASTRANGELO et en la présence de nos collègues Gilbert BELAUBRE, Alain CARDON,, Françoise DUTHEIL, Claude ELBAZ , Robert FRANCK, Jean -Pierre FRANCOISE , Michel GONDRAN, Jacques HENRI-ROBERT, Irène HERPELITWIN, Gérard LEVY, Pierre MARCHAIS, Jean SCHMETS.

Etaient également présents deux de nos Collègues de la section de Nice : Yves IGNAZI et Pierre GOUIRAND.

Etaient excusés François BEGON, Bruno BLONDEL, Michel CABANAC, Gilles COHEN-TANNOUDJI,, Daniel COURGEAU, Henri de LUMLEY, Valérie LEFEVRE-SEGUIN , Emmanuel NUNEZ, Pierre PESQUIES.

Le premier point à l'Ordre du Jour appelle l' Assemblée générale de l'AEIS :

ASSEMBLEE GENERALE 2011-2012

I) LECTURE DES RAPPORTS D'ACTIVITES et MORAUX

A) RAPPORT MORAL DE LA SECTION DE NANCY:

Compte-rendu d'activité de la section de NANCY de l'A.E.I.S. 2012-2013

La section de NANCY de l'A.E.I.S. progresse encore cette année : Nous sommes actuellement 30 membres cotisants et en moyenne 32 à 33 participants à nos réunions. Nous espérons que ces participants adhéreront l'année prochaine. Ce sont tous des universitaires de Nancy, Metz, Luxembourg. Malgré nos efforts et des contacts prometteurs nous n'avons pas pu intégrer des Belges.

Dans l'année 2011-2012 écoulée ,nous avons eu cinq séances de travail :

--Le 20 octobre 2011, l'académicien Francis JANOT, égyptologue, nous a présenté ses travaux sur « *Une activité de voyance au VIème siècle en Égypte.* »

--Le 16 décembre 2011, l'académicien Nguyen TRAN, directeur de l'école de chirurgie, Faculté de médecine, nous présentait ses travaux sur « *Médecines et chirurgies réparatrices, rôles des cellules souches.* »

--Le 23 février 2012, l'académicien Semba FALL, professeur d'économie à l'INPL, a tenté de nous faire comprendre notre société actuelle en nous présentant « *Crises financières et crises économiques.* »

--Le 20 avril 2012, l'académicien André MARKIEWICZ nous a présenté « *Politique(s) Culturelle(s). problème(s) important(s) de nos grandes villes.* »

--Le 14 juin 2012, l'académicienne Sylvie PIERRE ,nous présentait ses études, objet de sa thèse de Doctorat, sur « *Jean d'ARCY, père fondateur de la Télévision française, une pensée, une stratégie.* »

•L'académicien André MARKIEWICZ nous a quitté pour rejoindre un poste de directeur à Chalons-en-Champagne.

•L'académicien Philippe MARTIN a quitté Nancy pour la Faculté des lettres de Lyon 2 . Bonne carrière !

Productions récentes de nos membres :

-L'académicien Ferri BRIQUET a fait paraître aux Presses universitaires de Lorraine, dans la collection d'essais,un opuscule intéressant intitulé « *Comment l'Internet nous transforme : la socialisation dans l'univers numérique* »

- L'académicien Francis JANOT a fait paraître en 2012 deux ouvrages :

« *Les mystérieuses bagues de la momie de Turin* » Presses universitaires de Lorraine.collection d'essais

« *Le corps d'une prophétesse ?* » in,le luth dans l'Égypte byzantine Eds. Calament,Eichmann et Vendries.

- L'académicien Philippe MARTIN a fait paraître « *Une renaissance lorraine* » Editions Serpenoise ,Metz, 2012.

- L'académicien Vincent MEYER a fait paraître un ouvrage collectif intitulé « *Images troublées, réalités morcelées, Alzheimer : incarnation du mal vieillir ?* » Ed. les études hospitalières, Bordeaux 2012.

- L'académicienne Sylvie PIERRE vient de faire paraître un nouveau livre intitulé « *Jean d' ARCY, penseur et stratège de la Télévision* » Ed. i.n.a. collection Médias Histoire .

Le Président
Pierre NABET

B) RAPPORT MORAL DE LA SECTION DE NICE

RAPPORT D'ACTIVITE 2011-2012

Au cours de l'année 2011-2012, l'Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences Nice Côte d'Azur a tenu onze réunions statutaires au siège, Palais Marie-Christine, 20 rue de France à Nice.

Nouveaux membres :

Pierre Bourgeot - Directeur général CERTIAM, enseignant au centre associé du CNAM,
 Pierre Gouirand – Hôtelier, philosophe,
 Maurice Lethurgez – Inspecteur d'Académie honoraire, poète.

Conférences au Musée d'Art Moderne et d'Art Contemporain :

- Nicolas Lainé « *La conservation des éléphants en Inde d'hier et d'aujourd'hui* »
- Professeur Vincent Courtillot « *Colères de la Terre et extinctions en masse* »
- Professeur Christian Lochon « *Les printemps arabes : unité ou diversité ?* »
- Jean-Antoine Giansily « *L'euro, crise de croissance ou psychodrame ?* »
- Philippe Boulanger « *Paradoxes légers, paradoxes lourds* »
- Professeur Jean-François Mattéi « *Y a-t-il une supériorité de la civilisation européenne ?* »
- Professeur Alessandro Morbidelli « *Les planètes extrasolaires et les systèmes solaires* »
- Fathi Namouni « *Les exoplanètes de Descartes à la mission Kepler* »
- Pierre Gouirand « *Alexis de Tocqueville : ses idées politiques, sa carrière politique, le fond de sa pensée* »
- Louis Trabut « *Quel habitat pour nos enfants ? Essai de prospective* »

Diffusion :

Outre le public du MAMAC, nous envoyons chaque fois que c'est possible, le texte de ces conférences à tous les membres de l'Académie via Internet. Comme l'an dernier, elles sont disponibles sur le site

<http://etudiants.nice.fr/culture-scientifique,140>

C) RAPPORT MORAL DE L'ACADEMIE-PARIS

RAPPORT D'ACTIVITE 2011-2012

10 séances mensuelles depuis la dernière assemblée générale ont été tenues, avec une participation moyenne de dix personnes. Les travaux de l'année ont essentiellement porté sur la préparation de notre prochain colloque "*Formation des systèmes stellaires et conditions d'apparition de la vie*"

Les conférences suivantes ont été présentées :

	Thème séance	localisation
8 novembre 2011 18h	ASSEMBLEE GENERALE AEIS Proposition d'un nouveau groupe de travail par nos Collègues Alain CARDON, Pierre MARCHAIS et Michel GONDRAN	Maison de l'AX, 5 rue Descartes 75005 PARIS
13 décembre 2011 18h	Rapport sur le Colloque « <i>Théories et modèles en sciences sociales</i> » Présentation par notre Collègue Alain CARDON de : « <i>Présentation d'un modèle constructible possible de système psychique</i> »	Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche 25 rue de la Montagne Ste Geneviève 75005PARIS
10 janvier 2012 18h	Conférence du Pr François RAULIN Président de la Société Française d'Exobiologie Pr Université Paris Est Créteil et Université Paris Diderot « <i>L'exobiologie : Une jeune thématique interdisciplinaire exemplaire</i> »	Maison de l'AX, 5 rue Descartes 75005 PARIS
14 février 2012 18h	Conférence du Pr Marie-Christine MAUREL UPMC Paris 6 "Origines de la vie: concepts et résultats récents".	Maison de l'AX, 5 rue Descartes 75005 PARIS
13 mars 2012 17h30	Réflexion sur les thématiques possibles de prochains congrès	Maison de l'AX, 5 rue Descartes 75005 PARIS
mardi 10 avril 2012 17h30	Conférence d' André BRAHIC, Professeur à l'Université Paris VII: "Enfants du Soleil, histoire de nos origines"	Maison de l'AX, 5 rue Descartes 75005 PARIS
mardi 9 mai 2012 17h30	Conférence de Louis le Sergeant d'Hendecourt, de l'Institut d'Astrophysique Spatiale Directeur de Recherche catégorie 1 CNRS/Université Paris-Sud: "De l'astrochimie à l'astrobiologie: pour une approche méthodologique "	Maison de l'AX, 5 rue Descartes 75005 PARIS
mardi 12 juin 2012 17h30	Conférence de Patrick HENNEBELLE Astronome-adjoint à l'Observatoire de Paris Laboratoire de Radioastronomie, École Normale Supérieure « <i>De la formation des étoiles à la dynamique des disques protoplanétaires</i> »	Maison de l'AX, 5 rue Descartes 75005 PARIS

mardi 11 septembre 2012 17h30	Conférence de Marc OLLIVIER Astronome à l'Institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay Directeur du programme interdisciplinaire du CNRS "Environnements Planétaires et Origines de la Vie" (EPOV) « <i>Exoplanètes et Recherche de la Vie</i> »	Maison de l'AX, 5 rue Descartes 75005 PARIS
Mardi 9 octobre 2012 17h30	Conférence de François ROBERT Directeur de recherche au CNRS Directeur de l'UMR 7202 CNRS –MNHN. LMCM : Laboratoire de Minéralogie et Cosmochimie du Muséum Président du Programme National de Planétologie – CNRS "Comment reconstituer la synthèse organique dans le système solaire primitif ?"	Maison de l'AX, 5 rue Descartes 75005 PARIS

Évènements 2011-2012

Au cours de l'année écoulée (2011-2012) nos séances mensuelles (deuxième mardi) se sont déroulées principalement dans la salle de conférences de l'AX dont le siège est situé dans les locaux parisiens de l'Ecole Polytechnique au 5, rue Descartes (5è).

Deux séances se sont tenues respectivement dans les locaux du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (M.E.S.R) 25, rue de la Montagne Sainte Geneviève (5è) et à l'institut Henri Poincaré 11 rue Pierre et Marie Curie (5è). Ces deux autres lieux d'accueil sont utilisés lorsque la salle de conférences de l'AX n'est pas disponible.

Lors de la programmation de nos séances pour l'année 2013, nous avons constaté que le taux d'occupation pour les mois à venir, le mardi, de la salle de conférences de l'AX est élevé. Il nous a semblé préférable de rechercher sans tarder un autre jour (et une autre semaine) pour nos séances afin de nous éviter d'avoir à trop se déplacer dans les deux autres lieux d'accueil. Après concertation avec les instances administratives de l'AX, le lundi et le mercredi sont *a priori* plus favorables. Un sondage a été réalisé par correspondance auprès de nos collègues. **Il en résulte une nette préférence pour le premier lundi de chaque mois à 17h30. Ce changement va être soumis au vote lors de cette assemblée générale.**

Des discussions ont été initiées avec les instances de l'AX, par notre président d'honneur Gilbert Belaubre, en vue de transférer notre siège social de la Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme 54 Bd Boulevard Raspail (6è) au 5, rue Descartes 75005 Paris. Ce qui nous situerait au milieu d'institutions prestigieuses en plein cœur du quartier latin.

La préparation de notre prochain colloque sur le thème « *Formation des Systèmes Stellaires et conditions d'apparition de la vie* » se déroule normalement. D'ici la fin de cette année civile, huit conférenciers auront été invités. Ces invitations se poursuivront l'année prochaine avec le souci constant que toutes les disciplines concernées par ce thème puissent s'exprimer.

Pour ce qui concerne les aspects matériels de la préparation de ce colloque, dès le début de l'année 2013, nous reprendrons contact avec la présidence de l'Université Paris Diderot pour la réservation d'un amphithéâtre –le mois de février 2014 est visé– et avec la mairie de Paris pour les questions financières.

Nos collègues Robert Franck, Daniel Courgeau et Gilbert Belaubre se chargent de rechercher des éditeurs nationaux susceptibles de publier les actes de nos colloques et éventuellement de créer une collection de l'AEIS.

En parallèle a débuté une prospective sur la thématique d'un futur colloque. Un comité scientifique a été mis en place à cet effet. Il est présidé par notre collègue **Gilles Cohen-Tannoudji** et composé actuellement de nos collègues Alain Stahl, Gilbert Belaubre, Claude Elbaz, Michel Gondran et du président de l'AEIS. Cette commission travaillera de manière autonome et rendra compte de l'état d'avancement de ses réflexions lors de nos séances mensuelles.

Nouveaux membres : Daniel **COURGEAU** Directeur de Recherche émérite à l'INED, Robert **FRANCK** Professeur émérite de Philosophie à l'Université de Louvain , Jean **SCHMETS** Professeur émérite de Mathématiques à l'Université de Liège

Membre disparu: Marie-Louise LABAT Directrice de Recherche au CNRS en Biologie

Soumis au vote des Collègues présents et représentés, les trois rapports sont adoptés à l'unanimité.

II) LECTURE DU RAPPORT FINANCIER (voir document ci-dessous)

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES.

Situation financière au 30 octobre 2012

Le SOLDE au 7 novembre 2011 était de 3879,76 euros

Le SOLDE au 30 octobre 2012 est de 3642,71 euros

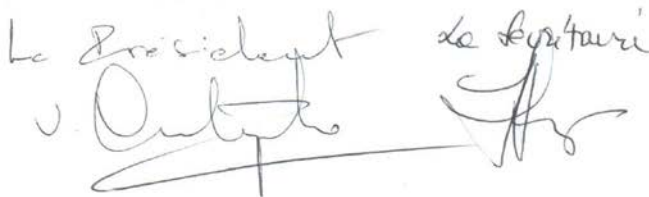
Crédits 2012 :

Cotisations 2012 (Paris)	1380
Cotisations 2011 (Nancy)	840
Inscriptions colloque	880
Total Crédits 2012 :	3100 euros

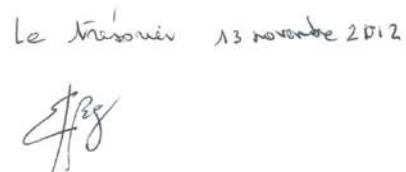
Dépenses 2012 :

Remboursements dépenses colloque :	2518,70
Lampe projecteur :	173,60
Billet train (deneubourg) :	185
Billet train (Franck) :	124
Billet avion (Courgeau)	163,99
Divers :	171,76
Total Dépenses 2012 :	3337,05 euros

SOLDE au 30 octobre 2012

Le Président de l'Académie


3642,71 euros

Le Trésorier 13 novembre 2012


Soumis au vote des Collègues présents et représentés, le rapport financier est accepté à l'unanimité.

Notre Collègue Trésorier nous signale que ces résultats sont basés sur les relevés bancaires du 30 octobre 2012. Il en résulte que deux virements n'étaient pas encore parvenus:

- celui de la section de Nice pour l'année 2010-2011: 480€
- celui de la section de Nancy pour l'année 2011 -2012: 900€

(Il en résulte qu'à la date du 13 novembre le solde devrait être de 5022,71€).

III) ELECTIONS

Renouvellement du Bureau:

Se présentent:

Président	Victor MASTRANGELO
Vice Président	Jean-Pierre FRANÇOISE
Secrétaire général	Irène HERPE-LITWIN
Trésorier général	Claude ELBAZ

Les candidatures sont adoptées à l'unanimité des présents et des représentés.

Sont présentés en tant que Conseillers spéciaux:

Sciences de la Matière	Gilles COHEN-TANNOUDJI
Sciences de la Vie	Brigitte DEBUIRE
Edition	Robert FRANCK
Affaires européennes	Jean SCHMETS

Sont présentés en tant que membres consultatifs:

Gilbert BELAUBRE
 Bruno BLONDEL
 Patrick CROSSA-RAYNAUD
 Michel GONDRAN

Les diverses candidatures soumises au vote sont acceptées à l'unanimité des présents et représentés.

les Présidents de section élus sont:

Section de NANCY	Pierre NABET
Section de NICE	René DARS

REMERCIEMENTS

Robert FRANCK remercie l'AEIS de la confiance accordée pour son aide aux problèmes d'édition.

Notre président Victor MASTRANGELO prend à la parole pour remercier chaleureusement les membres du bureau et tout particulièrement la Secrétaire Générale Irène HERPE-LITWIN, le Trésorier Général Claude ELBAZ et le passé Président Michel GONDRAN pour leurs implications dans la bonne marche de notre société savante.

Il remercie également notre collègue Robert FRANCK de bien vouloir s'investir dans les questions d'édition de nos travaux (publications en relation avec nos différents colloques notamment).

Il remercie pour terminer notre nouveau collègue Jean SCHMETS de prendre en charge sans tarder les affaires européennes de notre Académie. Concrètement, il devra prendre les contacts nécessaires auprès des institutions européennes afin que l'AEIS soit visible au niveau de l'Europe pour son prestige mais aussi pour bénéficier éventuellement de subventions dédiées à nos différentes activités (Cf. Courrier en date du 23/07/2009 adressé à notre président par le directeur général de la Recherche José Manuel SILVA RODRIGUEZ à la demande du Président José Manuel BARROSO).

Gilbert BELAUBRE, quant à lui, exprime sa gratitude et celle de l'AEIS au Président Victor MASTRANGELO pour le travail fourni.

IV) VOTE SUR LE CHANGEMENT DE DATE DES SEANCES DE L'AEIS PARIS

L'enquête réalisée par notre Collègue Irène HERPE-LITWIN a montré que le 1er Lundi du mois à 17h30 a réuni le plus grand nombre de suffrages lors de l'enquête qu'elle a effectuée..

Néanmoins notre Collègue demande si, pour ce même 1er lundi du mois, certaines modifications d'horaires ne faciliteraient pas la présence de certains Collègues. Après quelques discussions, il s'avère que pour certains Collègues ayant des impératifs de retour par le train, 17heures serait plus opportun que 17h30.

Soumise au vote la proposition est adoptée à l'unanimité des votants moins une abstention. Il s'ensuit que la première séance de l'AEIS se tiendra le 7 janvier à la Maison de l'AX à 17heures.

V) DISCUSSION SUR LES PROBLEMES D'EDITION DES DIFFERENTS COLLOQUES

Il s'agirait de trouver une maison d'édition française susceptible d'accueillir nos actes de colloques sous la forme d'une série. Que pouvons nous souhaiter? (voir la communication de Robert FRANCK publiée dans le Bulletin 168). Le but de l'Académie est d'approfondir des domaines situés à la frontière de plusieurs disciplines (Interdisciplinarité) en utilisant un langage commun. Cet objectif est à présenter aux maisons d'édition en insistant sur le fait que l'objectif de l'Académie répond à un besoin réel qui n'est malheureusement pas satisfait par les institutions actuelles.

Ceci est un **argument : nous comblons un vide pour des chercheurs trop spécialisés dans leur domaine et qui ont un accès difficile à celui du domaine voisin.** Notre démarche satisfait donc à un besoin réel de la Recherche en Europe.

En ce qui concerne la rédaction de nos publications, il ne faut pas uniquement se limiter à la publication (peu appréciée des éditeurs) d'Actes de Colloque, il faut rédiger un ouvrage de synthèse de l'ensemble des conférences intéressantes en essayant de les lier. Certaines contributions ne s'inscrivant pas dans l'ouvrage global à publier pourront néanmoins être accessibles sur le site de l'AEIS.

Il s'ensuit la nécessité pour chaque ouvrage de constituer des comités de lecture, et d'informer les conférenciers de nos objectifs en leur demandant de cibler dans leur rédaction le thème central de l'ouvrage. Ceci a pour but d'obtenir l'accord de l'Editeur.

Les Editeurs à rechercher seront les maisons spécialisées en Sciences et qui intéressent les chercheurs, c'est-à-dire celles qui sont intéressées par le traitement de questions scientifiques fondamentales. Il faut éviter les éditions trop scolaires. Il existerait entre 8 et 10 maisons d'édition à consulter susceptibles d'accueillir une série dans une de leurs collections existantes.

Après cet exposé , quelques interventions surgissent:

- Dans le choix de la maison d'édition , l'amplitude de distribution de celle-ci est également à prendre en compte
- Nos Collègues de Nice demandent si la problématique ne concerne que Paris et si on ne pourrait fédérer toutes les sections.
- En ce qui concerne la rédaction de la synthèse des actes d'un colloque , il faut nommer des comités de lecture et d'accompagnement.

COLLOQUE	Comité de lecture et d'accompagnement
<i>Fractales en progrès</i>	Gilbert BELAUBRE Jean SCHMETS Victor MASTRANGELO Gérard LEVY
<i>Théories et Modèles en Sciences Sociales</i>	Robert FRANCK Daniel COURGEAU Michel GONDRAN
<i>Emergences : de la fascination à la compréhension</i>	Claude ELBAZ Gilbert BELAUBRE Robert FRANCK Irène HERPE-LITWIN (traduction)
<i>Perspectives des approches expérimentales et théoriques de l'évolution</i>	

VI) REFLEXION SUR LA THEMATIQUE D'UN FUTUR COLLOQUE

Avec l'appui de nos Collègues Gilles COHEN-TANNOUDJI et Michel GONDRAN , Claude ELBAZ propose une thématique déjà évoquée en mars 2012 :

L'Univers des Ondes

Le sujet a le mérite d'être interdisciplinaire et de faire appel à un langage commun . Il débouche sur un des plus gros problèmes de la physique depuis un siècle : la lumière est-elle constituée d'ondes ou de particules? (ou exclusif on non exclusif?).

Cette riche problématique serait pilotée par notre Collègue Gilles COHEN-TANNOUDJI avec le concours du comité scientifique mis en place à cet effet.

Après cette riche séance, nos travaux prennent fin.

Bien à vous,

Irène HERPE-LITWIN

Comptes-rendus de la section

Nice-Côte d'Azur

*Le scientifique se heurte à l'énigme de trois infinis :
l'infiniment grand, l'infiniment petit et l'infiniment complexe,
c'est-à-dire la vie et l'intelligence.*

Bruno Guideroni – astrophysicien.

Compte rendu de la séance du 18 octobre 2012

(163^{ème} séance)

Présents :

Pierre Bourgeot, Patrice Crossa-Raynaud, François Cuzin, Guy Darcourt, René Dars, Jean-Pierre Delmont, Jacques Lebraty, Maurice Lethurgez, Maurice Papo.

Excusés :

Jean Aubouin, Richard Beaud, René Blanchet, Pierre Gouirand, Yves Ignazi, Jean-Marie Rainaud.

1- Approbation du compte rendu de la 162^{ème} séance.

Le compte rendu est approuvé à l'unanimité des présents.

2- Le mois écoulé.

L'iPhone a été doté d'une multitude de possibilités mais des utilisateurs astucieux en ont trouvé de nouvelles, payantes ou non, auxquelles son créateur n'avait pas pensé.

C'est ainsi que, outre la possibilité d'avoir le GPS, un amateur a montré qu'en pointant l'iPhone vers un avion qui passe, on avait aussitôt son numéro de vol, son origine et sa destination. Autre utilisation amusante : en photographiant un *sudoku*, on peut aussitôt en avoir la copie, mais surtout la solution.

3- Les prochaines conférences.

27 novembre 2012 : François Demard : « *La voix humaine : un modèle de diversité* ».

Le calendrier des conférences de 2013 est en cours d'élaboration.

Nous avons discuté ensuite des exigences financières du MAMAC qui nous ont semblé bien lourdes. Notre confrère Lethurgez nous a signalé que la Bibliothèque Louis Nucéra dispose d'une belle salle de 180 places, gratuite. Nous allons contacter la bibliothécaire, Madame Jeandidier.

Annances

I) Le Professeur Henry de LUMLEY nous fait part de:

INSTITUT DE PALÉONTOLOGIE HUMAINE

FONDATION ALBERT I^{er}, PRINCE DE MONACO

1, rue René Panhard - 75013 Paris — Tél: 33.(1).43.31.62.91 - Fax: 33.(1).43.36.73.08
iph@mnhn.fr — direction@fondationiph.org — www.fondationiph.org

Lundi 10 décembre 2012 à 12h00, S.A.S. *Le Prince Souverain Albert II de Monaco* remettra les bourses de recherche "Prince Rainier III de Monaco", 2011 et 2012, à deux jeunes préhistoriens dont les investigations, dans le domaine de la préhistoire, sont liées à l'Institut de Paléontologie Humaine.

Ce sera l'occasion de récompenser les travaux de :

- **Madame Elena Rossoni-Notter** sur les "*Comportement et modes de vie des groupes néandertaliens*" qui a soutenu sa thèse de doctorat à la fin de l'année 2011 sur les collections, issues des fouilles préhistoriques réalisées dans les grottes de Grimaldi par le Prince Albert I^{er} de Monaco, conservées au Musée d'anthropologie préhistorique de Monaco.

- **Monsieur Mehmet Cihat Alcicek** qui travaille en coopération avec les chercheurs de l'Institut de Paléontologie Humaine sur "*L'homme de Kocabaş et sa place dans le cadre géochronologique, paléoenvironnemental, paléoclimatique et culturel du Quaternaire*". Professeur à l'université Pamukkale à Denizli en Turquie, il est l'auteur d'une découverte importante : celle du crâne fragmentaire du plus ancien et du seul *Homo erectus* connu actuellement dans ce pays.

Un cocktail suivra cette séance.

J'ai le plaisir de vous inviter à cette cérémonie qui aura lieu dans l'amphithéâtre de l'Institut de Paléontologie Humaine et j'espère que vous aurez l'opportunité d'y participer.

II)

Notre Collègue **André FRATINI** voudrait nous signaler les coordonnées de la nouvelle *Association des Psychanalystes Européens (APE)* née dans le but de défendre la psychanalyse en tant que science de l'inconscient et pratique spécifique, distincte de toutes les autres disciplines du champ "psy", afin qu'elle ne glisse dans le chaudron des psychothérapies, du counseling ou de la médecine, ce qui équivaldrait simplement à sa fin.

A propos des aspects épistémologiques, éthiques, pratiques et didactiques distinguant la psychanalyse de la psychiatrie et des psychothérapies il rappelle qu'il existe nombres d'articles et d'ouvrages spécifiques, par exemple de Jacques Alain Miller (président de l'Association Mondiale de Psychanalyse) et de lui-même (par ex: La statue du psychanalyste . Quel statut, quelle liberté? Edilivre, Paris 2010).

Cette vocation de l'APE devient d'autant plus significative depuis l'introduction, cette année en France, de la réglementation des psychothérapies. En effet, une telle réglementation qui existe depuis 1989 en Italie nous a appris que la tendance qu'elle produit est à la transformation des psychanalystes en "psychothérapeutes analystes", un oxymoron qui pourtant a pratiquement fini par marquer la fin de la psychanalyse italienne. Quelle sera donc le destin du divan français?

L'APE est ouverte aux psychanalystes qui partagent la même conception de la psychanalyse scientifique, mais aussi aux chercheurs et intellectuels ayant obtenus une reconnaissance scientifique ou culturelle.

Association des Psychanalystes Européens (APE)

Siège social: Paris

Site: <http://psychanalyseeuropeenne.jimdo.com>

Agence de Presse: <http://aepsi.agence-presse.net/>

E-mail: psyeuropenne@yahoo.fr

je vous propose également un échange de liens entre nos sites respectifs (celui de l'AEIS est déjà présent sur notre site). Merci.

Documents

Pour préparer la conférence du Pr André BRACK nous vous proposons:

p.19: à partir de son Blog <http://blog.mysciencework.com/2011/10/18/a-la-recherche-de-la-vie-sur-mars.html> quelques réflexions sur la recherche de la vie sur mars.

p. 22: Les origines de la vie par André Brack Texte extrait du GDR Exobiologie (http://www.exobio.cnrs.fr/article.php3?id_article=23)

P.35 : La vie dans l'Univers : de la chimie à l'astronomie par André BRACK
Cahiers Clairaut Novembre 2011

A la recherche de la vie sur Mars

André BRACK

<http://blog.mysciencework.com/2011/10/18/a-la-recherche-de-la-vie-sur-mars.html>

*Dans les programmes d'exobiologie, dont l'objectif ultime est la découverte d'une vie extraterrestre, la planète Mars occupe une place privilégiée. Les résultats fournis par les satellites martiens *Mariner 9*, *Viking 1 et 2*, *Mars Pathfinder*, *Mars Global Surveyor*, *Mars Odyssey*, *Mars Express*, *Mars Reconnaissance Orbiter*, les deux robots martiens *Mars Exploration Rover Spirit* et *Opportunity* et la sonde *Phoenix* indiquent clairement que Mars a abrité de grandes quantités d'eau à sa surface.*

Dans cet article l'auteur, André Brack, chercheur émérite en astrobiologie et contributeur actif de la recherche de la vie dans l'Univers au sein de l'ESA et de la NASA, nous explique les derniers résultats de l'exploration de la vie sur Mars et nous expose les futures missions vers Mars et leurs enjeux.

Place à l'article d'André Brack: « A la recherche de la vie sur Mars »



La présence permanente d'eau suppose une température constamment voisine ou supérieure à 0°C, température atteinte probablement grâce à l'existence d'une atmosphère dense générant un effet de serre important. Grâce à cette atmosphère, la planète a pu accumuler des micrométéorites à sa surface à l'instar de la Terre.

Les ingrédients qui ont permis l'apparition de la vie sur Terre étaient donc présents sur Mars.

Il est dès lors possible qu'une vie microscopique de type terrestre ait pu apparaître sur la planète rouge. Les sondes Viking n'ont pas trouvé de molécules organiques à la surface de Mars mais certaines météorites martiennes renferment des molécules organiques. Parmi ces météorites, aujourd'hui au nombre de 50, figure la fameuse météorite ALH 84001 présentée comme renfermant des nano bactéries martiennes fossilisées. Cette interprétation est aujourd'hui abandonnée.

Le spectromètre infra rouge Planetary Fourier Spectrometer de Mars Express a détecté du méthane dans l'atmosphère de Mars. La présence de méthane a été confirmée depuis la Terre. Avec une durée de vie de 300 ans, il faut une source permanente de méthane. Pour savoir si ce méthane est d'origine biologique ou géologique, il faudrait pouvoir détecter d'autres bio-signatures gazeuses, comme l'ammoniac et le formaldéhyde, mais ces composés ont une durée de vie très courte, de l'ordre de quelques heures dans l'environnement martien.

La mission américaine Mars Science Laboratory

La mission américaine *Mars Science Laboratory*, dont le lancement est prévu en novembre 2011, aura précisément comme objectif de rechercher les traces de molécules organiques et des indices d'une éventuelle vie martienne microscopique fossilisée. Lancé par une fusée Atlas V, le rover (petit véhicule automatique) doit se poser dans le cratère Gale en août 2012. Les instruments embarqués à bord du rover, appelé *Curiosity*, vont rechercher des traces de vie fossilisées, analyser la composition minéralogique des roches, étudier la géologie de la zone d'atterrissage ainsi que la météorologie et les radiations qui balayent le sol de la planète. Le rover devrait pouvoir parcourir 20 km au cours d'une mission prévue pour durer deux années terrestres.

La contribution européenne

De 1996 à 2000, la Direction des Vols Habités et Microgravité de l'agence spatiale européenne (ESA) a demandé à l'auteur de constituer l'*Exobiology Science Team* chargée de définir le laboratoire idéal, une *Exobiology Facility*, à installer à la surface de Mars pour y rechercher des traces de vie. Dans le même temps, l'ESA décidait de lancer *Mars Express* (un revol de la mission avortée Mars 96) et retint le principe d'un atterrisseur dédié à l'exobiologie. Colin Pillinger, qui faisait parti de l'*Exobiology Science Team*, releva le défi à l'Open University de Milton Keynes en Angleterre et s'évertua à faire entrer un maximum d'instruments de l'*Exobiology Facility* dans la masse très réduite (de l'ordre de 10 kg) disponible sur l'atterrisseur appelé Beagle 2. Les instruments de Beagle 2 devaient analyser la composition minérale, organique et isotopique des échantillons prélevés dans les roches de surface à l'aide d'un bras articulé et dans le proche sous-sol à l'aide d'une « taupe » mécanique. Lancé le 2 juin 2003 avec la mission Mars Express, Beagle 2 devait atterrir le 25 décembre 2003 mais il n'a jamais donné signe de vie.

Les espoirs européens reposent maintenant sur la mission européenne *ExoMars* (inspirée des recommandations de l'*Exobiology Science Team*), en association avec la mission américaine *Max-C*, pour un lancement en 2018. Pour identifier les éventuels microorganismes martiens fossilisés, il faut se doter d'éléments de comparaison. C'est la raison pour laquelle Frances Westall et son équipe, au Centre de biophysique d'Orléans, ont analysé des traces de vie microscopique dans des roches terrestres vieilles de 3,446 milliards d'années provenant du Craton de Pilbara en Australie. Ces traces très anciennes de vie sont particulièrement difficiles à étudier. Leur identification requiert des instruments très sophistiqués et très lourds. Il sera donc impossible de les embarquer à bord d'une sonde spatiale. Par conséquent, en l'absence de tels instruments sur Mars, il sera probablement impossible d'identifier sans ambiguïté des traces de vie à sa surface et il faudra peut-être attendre les échantillons ramenés sur Terre en 2025, dans le cadre du projet *Mars Sample Return* en 2025.

Peut-être faudra-t-il même attendre un vol habité vers Mars pour lever toute ambiguïté, mais ce vol sera loin d'être une croisière.

Dans l'état actuel de la technologie, un vol habité vers Mars durerait au minimum 2 ans, 6 à 8 mois pour l'aller, environ 8 mois sur place pour attendre la bonne conjonction planétaire et 6 à 8 mois pour le retour

Pendant toute la durée de la mission, l'équipage sera exposé aux problèmes liés à l'apesanteur, aux rayonnements ionisants et au confinement.

Sur Terre, il est impossible de s'adapter à l'apesanteur car la gravité y est omniprésente. L'adaptation est possible dans une station spatiale en orbite terrestre où la gravité est compensée par la force centrifuge de sa rotation autour de la Terre. Le 12 avril 1961, *Yuri Gagarine* devint le premier homme à revenir vivant de l'orbite terrestre. Depuis, le record de séjour dans l'espace est détenu par Valeri Poliakov avec 14 mois

passés à bord de la station MIR. Une fois sur Mars, les conditions de vie redeviennent un peu meilleures. Les astronautes retrouvent une gravité mais celle-ci n'est que le tiers de la gravité terrestre. Ils viennent de passer de nombreux mois en apesanteur (fragilité des os, atrophie musculaire) et le retour à la pesanteur, même réduite, risque d'être difficile et handicapant.

Pour aller sur Mars, le vaisseau sera soumis au vent solaire et aux rayons cosmiques. Un blindage du vaisseau de quelques centimètres d'épaisseur arrêtera une partie des particules dues aux éruptions solaires. Par contre, pour arrêter les rayons cosmiques, il faudrait employer des boucliers de plusieurs mètres d'épaisseur, solution irréaliste en raison du poids. Une fois sur Mars, les doses de rayonnements ionisants reçues sont moindres, la masse de la planète élimine la moitié des particules du rayonnement cosmique et son atmosphère arrête les éruptions solaires.

L'enfouissement de la future base martienne sous plusieurs mètres de régolite devrait assurer une bonne protection contre le rayonnement cosmique. Néanmoins, le voyage aller-retour exposera l'équipage à des doses cumulées proches des doses critiques.

Quant aux contraintes psychologiques, la vie à bord d'un vaisseau spatial à destination de Mars sera difficile en raison notamment du confinement, de l'absence d'intimité, de la permanence du danger, de l'isolement social, de l'utilisation permanente des systèmes de recyclage, y compris [des urines pour la fourniture d'eau](#). Au-delà de 30 jours, l'isolement provoque une baisse des capacités intellectuelles et physiques, une augmentation de l'irritabilité, de la fatigue, de l'anxiété. Pour aller sur Mars, l'équipage devra parcourir une distance d'au moins 55 millions de kilomètres et la Terre ne sera plus qu'un petit point dans le ciel. Que deviendra-t-il lorsqu'il se sentira vraiment livré à lui-même devant l'effacement progressif de notre planète? Au printemps 2009, 6 volontaires ont passé 105 jours dans un caisson isolé du monde extérieur à Moscou pour étudier les aspects psychologiques et médicaux des vols de longue durée. Ils ont été soumis à des simulations stressantes comme le lancement, le voyage, l'arrivée, le retour. Ils ont également été soumis aux tâches qui seront demandées lors d'une future mission martienne. Les 6 volontaires ont gardé bon moral, même si certains ont perdu la notion du temps. Depuis début 2010, une autre simulation de mission vers Mars se déroule sur 520 jours.

En conclusion, la quête de la vie sur Mars est en marche. Des indices prouvent qu'il y a eu de l'eau liquide à sa surface. A cette époque, les conditions d'apparition de la vie étaient y peut-être réunies. C'est pourquoi les recherches actuelles tentent d'observer sur Mars des traces de vie fossiles. L'Homme dispose maintenant des outils nécessaires à leurs découvertes mais les obstacles à franchir restent importants, le principal étant la vaste distance Terre-Mars.

En savoir plus:

La vie dans l'Univers, entre mythes et réalités, Brack, A. et Coliolo, F. Editions La Martinière (2009).

Catalogue des météorites martiennes : http://www.nirgal.net/meteori_table.html

Video: Mars Science Laboratory Curiosity Rover Animation:

<http://www.spaceref.com/news/viewsr.rss.spacewire.html?pid=37533>

André Brack

Centre de biophysique moléculaire, CNRS, Orléans

brack@cnrs-orleans.fr

Les origines de la vie (André Brack)

Texte extrait du GDR Exobiologie

(http://www.exobio.cnrs.fr/article.php3?id_article=23)

Dans toutes les civilisations, l'homme a été intrigué par son origine et par l'origine de la vie. Pendant des millénaires, la théorie confortable et rassurante de la "génération spontanée" répondit à cette interrogation. Déjà dans la Chine ancienne on pensait que les bambous donnaient spontanément naissance aux pucerons. Les écrits sacrés de l'Inde mentionnent la naissance spontanée de mouches à partir d'ordures et de sueur. Les inscriptions babyloniennes signalent que la boue des canaux pouvait engendrer des vers. Dans l'Égypte antique, on pensait que le limon déposé par le Nil pouvait générer spontanément grenouilles et crapauds. Bien que partant d'observations réelles - la présence d'animaux dans différents milieux - ces civilisations furent incapables d'en dégager une interprétation correcte, faute de pouvoir recourir à la vérification expérimentale.

Pour les philosophes grecs, la vie est propriété même de la matière ; elle est éternelle et apparaît spontanément chaque fois que les conditions sont propices. Ces idées apparaissent clairement dans les écrits de Thalès, de Démocrite, d'Epicure, de Lucrèce et même dans ceux de Platon. Aristote réalise la synthèse des idées précédemment émises. Avec lui, la génération spontanée acquiert la dimension d'une véritable théorie. Celle-ci traverse allègrement le Moyen-Age et la Renaissance ; de grands penseurs comme Newton, Descartes et Bacon la soutiennent. C'est à cette époque qu'apparaissent les premières expérimentations sur la génération spontanée. C'est ainsi qu'au milieu du 17^e siècle, Van Helmont, un médecin flamand déclara obtenir des souris avec des grains de blé et une chemise imprégnée de sueur humaine. Van Helmont constate avec surprise que les souris obtenues dans ces conditions sont identiques à celles nées par procréation.

Observation et expérimentation approximative renforcent l'idée fautive au lieu de la remettre en cause. Les premières attaques expérimentales furent portées par Rédi, un médecin naturaliste toscan. Dans son traité de 1668, il publie une série d'expériences démontrant que les asticots ne sont pas générés spontanément par la viande en putréfaction lorsque l'on prend la précaution de recouvrir les bords d'une très fine mousseline. Six ans après la parution du traité de Rédi, le savant hollandais Anton Van Leeuwenhoek effectue les premières observations de microorganismes à travers un microscope de sa fabrication. Dès lors, on trouve des microorganismes partout et les adeptes de la génération spontanée se réfugient dans le monde de l'infiniment petit. Cependant, Van Leeuwenhoek pensait déjà que ces microorganismes provenaient d'une contamination des solutions par l'air ambiant. En 1718, son disciple Louis Joblot démontre expérimentalement que les microorganismes proviennent bien de l'air ambiant. Il ne réussit pas à convaincre les naturalistes qui considéraient le monde des microorganismes comme le bastion le plus significatif de la génération spontanée. Il est vrai que, depuis Rédi, on cessa progressivement de croire à l'intervention de la génération spontanée dans le cas des êtres vivants hautement organisés. Même Buffon, au milieu du 18^e siècle, pense que la nature est pleine de germes de vie capables de s'éparpiller lors du pourrissement puis de s'unir pour produire des microbes. John Needham, l'ami gallois de Buffon, réalise de nombreuses expériences pour confirmer cette conception. Il place différentes substances organiques dans une fiole hermétiquement close et chauffe l'ensemble pour stériliser. Après traitement, toutes les solutions foisonnent de microbes. L'abbé italien Lazzaro Spallanzani porte les solutions à des températures plus élevées et contredit Needham. Une vive polémique s'engagea sur l'effet de la température mais Spallanzani n'arriva pas à imposer ses vues. Une fois encore, la notion subjective de la "force vitale" l'emporta sur la démonstration expérimentale.

Cette controverse va atteindre son apogée un siècle plus tard avec la publication en 1860 du traité de Félix Pouchet " Hétérogénie ou traité de la génération spontanée". Dans son ouvrage, Félix Pouchet, correspondant de l'Institut, définit la génération spontanée comme étant la production d'un être organisé nouveau, dénué de parents, et dont tous les éléments primordiaux ont été tirés de la matière ambiante. Louis Pasteur se livre alors à des expériences rigoureuses sur le pouvoir fermentescible et la

stabilité à la chaleur des germes de l'air ambiant et réfute tous les arguments de Pouchet. Pour arbitrer le conflit, l'Académie des Sciences charge une Commission de faire reproduire les expériences devant ses membres. Le 22 juin 1864, Louis Pasteur démontre que ce sont les germes de l'air ambiant qui altèrent les solutions aqueuses, étayant ainsi la théorie des germes. Le 20 février 1865, la Commission de l'Académie des Sciences donnait raison à Louis Pasteur contre Félix Pouchet : la matière ambiante ne peut pas générer un être organisé nouveau, dénué de parents. Elle mettait fin à une idée fausse qui dû probablement sa longévité au poids culturel de la notion de vie. Pasteur eut le désir de créer la vie, mais probablement une vie obtenue par synthèse chimique à partir de molécules simples. En 1878 il écrivait : « La génération spontanée, je la cherche sans la découvrir depuis vingt ans. Non, je ne la juge pas impossible ». Formidable encouragement aux chimistes de l'origine de la vie terrestre. En démontrant que la vie ne peut provenir que d'êtres vivants préexistants, Pasteur transforme le mystère en énigme : la vie a une histoire et donc un commencement.

Propriétés fondamentales des systèmes vivants

Des têtes sans jambes, des jambes sans têtes, des bras, des torsos, jonchaient autrefois la surface de la Terre. Un jour, par hasard, tous les éléments nécessaires à la constitution d'un être humain se rencontrèrent et s'auto-organisèrent. Ainsi naquit, selon Empédocle, le premier être vivant. L'image d'Empédocle peut être transposée au niveau moléculaire : un certain nombre de molécules s'auto-organisent dans l'eau et forment des structures chimiques, sortes d'automates chimiques, capables d'assembler d'autres molécules pour générer des structures à leur image, produisant ainsi plus d'eux-mêmes par eux-mêmes (Figure 1). C'est l'auto-reproduction. Par suite de légères erreurs de montage, des automates plus aptes à se reproduire apparaissent et deviennent les espèces dominantes. C'est l'évolution. Auto-reproduction et évolution sont donc les deux qualités qui caractérisent, a minima, le passage de la matière à la vie.

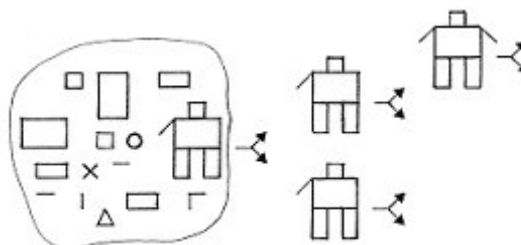


Figure 1. Représentation schématique de petits automates chimiques capables d'auto-reproduction et d'évolution (crédit A. Brack)

Comment passer de la matière à la vie

Les scientifiques supposent que les premiers petits automates chimiques apparurent dans l'eau des océans il y a environ 4 milliards d'années. L'eau ne pose pas de problème majeur car la Terre était déjà couverte d'eau peu de temps après sa formation, il y a plus de 4 milliards d'années, comme l'indiquent les rapports des isotopes de l'oxygène mesurés dans des zircons (cristaux de silicate de zirconium contenant des traces d'uranium et de thorium qui permettent de les dater) vieux de 4,4 milliards d'années retrouvés dans des sédiments d'Australie occidentale.

Dès 1953, qui marqua le début de la chimie prébiotique avec l'expérience de Miller, les chimistes ont cherché à reconstituer dans leurs tubes à essais des automates ressemblant à une cellule simplifiée en raison de la remarquable unité du vivant contemporain et de son mode de fonctionnement cellulaire. Pendant des décennies, les chimistes se sont ainsi évertués à reconstituer en laboratoire des molécules indispensables au fonctionnement d'une cellule : les molécules de compartimentation (molécules membranaires), les molécules de l'information (ARN et ADN) et les molécules catalytiques (enzymes protéiques).

La matière première des automates primitifs

Par analogie avec le monde vivant contemporain, on considère généralement que la vie primitive utilisait déjà des molécules organiques, échafaudages d'atomes de carbone liés à des atomes d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de phosphore et de soufre. Les formes de carbone les plus simples capables de conduire aux molécules organiques sont gazeuses : dioxyde de carbone et monoxyde de carbone pour les formes oxydées et méthane pour la forme réduite.

Quand on pense molécules gazeuses, on pense tout naturellement à l'atmosphère terrestre. L'idée de composés chimiques fabriqués dans l'atmosphère terrestre fut d'abord émise par le biochimiste russe Alexandre Oparin en 1924, puis par l'Anglais John Haldane en 1929, indépendamment d'Oparin. Oparin pensait que l'atmosphère primitive était dominée par le méthane, une forme réduite du carbone alors que pour Haldane, les molécules organiques se seraient formées à partir de dioxyde de carbone, une forme oxydée du carbone. L'hypothèse d'Oparin se trouva confortée en 1953 par l'expérience remarquable du jeune chimiste américain Stanley Miller. Ce dernier remplit un ballon d'un mélange gazeux de méthane, d'ammoniac, d'hydrogène et de vapeur d'eau et soumit ce mélange à l'action d'un arc électrique simulant les orages de la Terre primitive. Parmi les composés formés, il identifia l'acide cyanhydrique et le formaldéhyde, précurseurs chimiques des briques du vivant. Il isola également plusieurs acides aminés, dont la glycine, le plus simple des acides aminés protéiques. Depuis l'expérience de Miller, dix-sept des vingt acides aminés protéiques ont été isolés ainsi que certains éléments constitutifs des acides nucléiques. Cependant, les géochimistes affirment aujourd'hui que l'atmosphère terrestre primitive était essentiellement neutre, formée majoritairement de dioxyde de carbone, d'eau, et d'hydrogène sulfuré d'origine volcanique ou micrométéoritique, avec des quantités mineures d'autres gaz tels que méthane, monoxyde de carbone et azote. Lorsque l'on refait l'expérience de Miller en passant progressivement du méthane au dioxyde de carbone, la formation d'acides aminés devient de plus en plus difficile. Si l'atmosphère primitive était réellement dominée par du dioxyde de carbone, elle ne pouvait pas être la source exclusive de la matière organique nécessaire à l'émergence de la vie terrestre et d'autres filières ont dû contribuer à la production de pièces d'automates chimiques, filières océanique et spatiale.

Les sources hydrothermales sous-marines présentent un environnement favorable aux synthèses prébiotiques. Lorsque deux plaques tectoniques s'écartent, le magma remonte et se solidifie pour former les dorsales océaniques. Au cours de son ascension et de son refroidissement, le magma se contracte et se fissure. L'eau de mer s'infiltré sur plusieurs centaines de mètres de profondeur et se réchauffe au contact du basalte chaud jusqu'à atteindre des températures de 350 °C. L'eau se charge en gaz, hydrogène, azote, oxyde de carbone, dioxyde de carbone, méthane, anhydride sulfureux, hydrogène sulfuré, puis s'échappe du fond de l'océan sous forme de véritables geysers. Les sources hydrothermales sous-marines constituent un milieu exceptionnel qui a peu évolué depuis quatre milliards d'années. Les éléments indispensables à la fabrication des pièces d'automates chimiques y sont présents : hydrogène, azote, monoxyde et dioxyde de carbone, hydrogène sulfuré, méthane et, bien sûr, eau. Le magma fournit en continu l'énergie nécessaire sous forme de chaleur. Le milieu est protégé des effets destructeurs des rayons ultraviolets par la couche d'eau océanique qui amortit également le bombardement météoritique. Est-ce là le berceau des automates chimiques ? Une température de 350°C est trop élevée pour permettre la survie des automates, voire même des pièces d'automates. Le record pour les bactéries hyperthermophiles qui vivent à des températures supérieures à 80°C au voisinage des sources hydrothermales est actuellement de 113°C. Il semble bien que ces bactéries hyperthermophiles proviennent de bactéries vivant à des températures plus agréables, inférieures à 80°C, qui se seraient adaptées relativement récemment à ces températures extrêmes. Il est donc peu probable que les sources hydrothermales aient été le berceau des automates chimiques mais elles ont très bien pu produire certaines des pièces nécessaires à leur émergence. Pour l'Allemand Günter Wächtershäuser, les molécules organiques primordiales se seraient formées au niveau de ces sources hydrothermales par réduction des oxydes de carbone grâce à la réaction de l'hydrogène sulfuré sur le sulfure de fer. En laboratoire, le sulfure de fer, l'hydrogène sulfuré et le dioxyde de carbone réagissent en milieu anaérobie pour donner de l'hydrogène et une variété de dérivés soufrés. Dans certaines conditions, il

se forme des dérivés soufrés particulièrement intéressants, qui ont peut-être constitué, selon le biologiste belge Christian De Duve, le principal moteur chimique d'un monde vivant primitif soufré.

Des molécules organiques d'origine extraterrestre

L'apport de molécules organiques extraterrestres reste de loin le plus important. Les sondes Véga 1 et 2, Giotto, Suisei et Sakigake ont montré que la comète de Halley est riche en matériaux organiques, le taux moyen en poids de carbone présent dans les grains cométaires étant estimé à 14 %. Parmi les molécules identifiées, on retrouve l'acide cyanhydrique et le formaldéhyde. Ces composés, ainsi que de nombreuses autres molécules d'intérêt prébiotique, ont également été observés dans les comètes Hyakutake en 1996 et Hale-Bopp en 1997.

Les météorites carbonées, représentées typiquement par les météorites d'Orgueil et de Murchison, renferment des composés organiques comme des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques. Des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des kérogènes et des fullerènes sont également présents. Des composés plus proches des composés biologiques ont été identifiés : acides carboxyliques, acides aminés, bases nucléiques, amines, amides, alcools, etc. La météorite carbonée de Murchison renferme plus de soixante-dix acides aminés différents. Au nombre de ceux-ci on trouve huit acides aminés protéiques. Les atomes de carbone qui constituent l'ossature des systèmes vivants et, très probablement, des automates chimiques primitifs, occupent généralement le centre de tétraèdres. Comme les groupes d'atomes liés aux quatre sommets des tétraèdres sont différents, les atomes de carbone sont asymétriques et se présentent sous deux formes, images l'une de l'autre dans un miroir, non superposables. Il existe donc des acides aminés L et des acides aminés D. Les systèmes vivants n'utilisent qu'une seule des deux formes possibles pour chaque grande famille de constituants biologiques, protéines, ADN, etc. C'est ainsi que les protéines n'utilisent que la forme L des acides aminés. Une vie qui utiliserait indifféremment et simultanément les deux formes L et D des molécules biologiques semble très improbable. Le minéralogiste américain John Cronin trouva environ 55% de formes L et 45% de formes D pour certains acides aminés présents dans la météorite de Murchison. La découverte par les astronomes d'un rayonnement infrarouge fortement polarisé dans un nuage moléculaire de la nébuleuse d'Orion pourrait expliquer l'origine extraterrestre de cet excès de formes L.

Des collectes de poussières interplanétaires dans les glaces du Groënland et de l'Antarctique par le minéralogiste français Michel Maurette permettent d'évaluer à environ 50 à 100 tonnes la quantité de grains interplanétaires arrivant tous les jours actuellement à la surface de la Terre. Environ 99% de cette masse est apporté par des micrométéorites dont le diamètre est compris entre 50 et 500 Tm. Les micrométéorites sont apparentées aux météorites les plus primitives, celles du groupe des météorites carbonées représentées par la météorite de Murchison. Une analyse détaillée des teneurs en carbone de différents groupes de micrométéorites permet d'estimer à cent tonnes le flux total de carbone organique apporté tous les ans à la Terre. La quantité livrée à la Terre pendant la phase active du bombardement terrestre entre 4,1 et 3,8 milliards d'années, quand le flux micrométéoritique était vraisemblablement mille fois plus intense qu'aujourd'hui, est estimée à 1023g. Pour donner un ordre de grandeur, cette valeur représente cent mille fois la valeur actuelle du carbone biologique recyclé aujourd'hui à la surface de la Terre. Ces grains renferment une forte proportion de sulfures métalliques, d'oxydes, d'argiles qui sont autant de catalyseurs. Au contact de l'eau liquide, les grains ont donc pu fonctionner comme des microréacteurs chimiquement transformant la matière organique des grains à l'aide des catalyseurs présents.

Près de cent dix molécules différentes ont été identifiées à ce jour dans les nuages denses de gaz et de poussières du milieu interstellaire. Parmi ces molécules, quatre-vingt-trois contiennent du carbone. La présence de glycine, longtemps controversée, a été confirmée récemment dans le milieu interstellaire ainsi que les molécules précurseurs qui conduisent généralement aux acides aminés : acide cyanhydrique, ammoniac et formaldéhyde. Pour vérifier que la synthèse d'acides aminés dans les conditions du milieu interstellaire se fait facilement, un mélange de glaces d'eau, d'ammoniac, de méthanol, de monoxyde et de dioxyde de carbone a été irradié au Laboratoire d'astrophysique de Leyde aux Pays-Bas, dans des

conditions mimant celles du milieu interstellaire (vide poussé de 10^{-7} mbar, température de -261°C). Une fois ramenés à la température ambiante, les échantillons, ont été analysés au Centre de biophysique moléculaire du CNRS à Orléans. Nous y avons identifié seize acides aminés dont six (glycine, alanine, valine, proline, serine, acide aspartique) font partie des vingt acides aminés protéiques.

On sait que les météorites, dont la masse est supérieure à cent grammes, peuvent transporter les acides aminés. Cependant, l'apport en météorites (aujourd'hui de l'ordre de cent tonnes par an) est très minoritaire par rapport à celui des micrométéorites. Il fallait donc vérifier à partir de quelle taille, une micrométéorite devient un transporteur possible d'acides aminés. Des expériences spatiales ont été menées en orbite terrestre pour établir ce point. Dans l'expérience BIOPAN-1, six acides aminés L présents dans la météorite de Murchison ont été exposés aux conditions de l'espace pendant quinze jours en juin 1994 à bord de la capsule automatique russe FOTON-8. Ils ont été exposés nus mais également enrobés dans une argile, la montmorillonite. Après récupération, les acides aminés ont été analysés à l'aide d'une technique qui permet de mesurer le taux de décomposition des acides aminés mais aussi le taux de racémisation, c'est-à-dire la proportion de forme L qui a été éventuellement transformée en forme D au cours de l'exposition. Les analyses effectuées après le vol révèlent des différences nettes de comportement se traduisant notamment par un déficit significatif des acides aminés acides, acide glutamique et acide aspartique dans les échantillons exposés au rayonnement solaire. Aucun déficit n'est constaté lorsque les échantillons sont associés à des argiles. Aucune racémisation n'a été observée. Le second vol de dix jours en 1997 a confirmé les résultats du premier vol et a permis de montrer qu'au-dessous de 5 Tm, l'argile n'offrait plus de protection totale contre le rayonnement solaire. Un troisième vol s'est déroulé en 1999 à bord de la station MIR. Pour cette mission, différentes protections minérales ont été utilisées, à différentes épaisseurs : une argile, une poudre de basalte et une poudre de météorite. Après trois mois en orbite terrestre, les acides aminés ont été détruits à hauteur de 50% en l'absence de protection minérale. A épaisseur égale, c'est la poudre de météorite qui a présenté le meilleur pouvoir protecteur. La poudre météoritique protège efficacement à partir d'une épaisseur de 5 Tm. En d'autres termes, toute micrométéorite de taille supérieure à 5 Tm représente un transporteur possible d'acides aminés dans l'espace.

Les premiers automates chimiques

Comme déjà mentionné, les chimistes ont d'abord pensé que les automates primitifs devaient ressembler à des cellules simplifiées, en s'inspirant du vivant contemporain cellulaire et de l'universalité du code génétique. A partir des petites molécules organiques, les chimistes se sont efforcés de reconstituer en laboratoire les trois familles de biopolymères indispensables au fonctionnement de la cellule. Certaines substances organiques présentes dans les météorites carbonées de Murchison et d'Allende forment dans l'eau des cloisons qui ressemblent à des membranes. Des acides gras sont notamment présents dans ces météorites. Toutefois, les membranes produites à l'aide de ces composés amphiphiles simples ne sont pas très stables, de sorte que des composés chimiques plus complexes ont vraisemblablement été nécessaires pour conférer une bonne stabilité aux membranes primitives.

Des mini-protéines ont été reconstituées en laboratoire. Une équipe de chercheurs japonais, en collaboration avec notre laboratoire à Orléans, a obtenu des chaînes renfermant jusqu'à huit acides aminés en faisant passer alternativement une solution de glycine d'une chambre réactionnelle à 220°C à une chambre à 0°C , mimant ainsi les conditions de trempage thermique qui règnent à proximité des sources chaudes sous-marines. Il a été montré par ailleurs que les argiles permettent d'obtenir de longues chaînes de mini-protéines. Les chimistes à Orléans ont réussi à reproduire les géométries des protéines, hélices-alpha et feuillettes-beta. Toute une série de mini-protéines construites sur une alternance stricte d'acides aminés hydrophiles et hydrophobes a été préparée. Elles adoptent toutes une structure en feuillettes-beta dans l'eau par agrégation des groupes hydrophobes, à condition que le caractère hydrophobe soit bien marqué. Lorsque l'on ajoute de l'alcool à l'eau, la force des interactions hydrophobes qui génèrent les feuillettes-beta s'atténue et les mini-protéines adoptent alors une géométrie en hélice-alpha. C'est donc l'eau qui, par ses propriétés physiques spécifiques, permet la structuration en feuillettes-beta. Les mini-protéines à séquence

alternée, capables de ce fait de prendre la géométrie en feuillets-beta, sont très résistantes, ce qui a peut-être permis leur sélection sur la Terre primitive. La formation de feuillets-beta requiert l'utilisation d'acides aminés de même chiralité, c'est-à-dire tous L ou tous D. Lorsque les séquences alternées renferment à la fois des formes L et D distribuées au hasard le long des chaînes, seuls les segments contenant au moins six acides aminés L (ou D) consécutifs s'agrègent en feuillets-beta. De nombreux mini-protéines manifestent une activité catalytique. Par exemple, à Orléans, nous avons montré que des mini-protéines basiques ne renfermant que deux acides aminés différents coupent les ARN. La grande majorité des travaux de reconstitution d'acides nucléiques prébiotiques porte sur les ARN car ils sont considérés comme étant plus anciens, plus primitifs, que les ADN. Certaines bases des nucléotides sont obtenues facilement à partir de l'acide cyanhydrique ou en soumettant un mélange gazeux de méthane, d'éthane et d'ammoniac à des décharges électriques. Les bases sont également présentes en très petites quantités dans les météorites et peut-être même dans les comètes. La synthèse des sucres à partir de formaldéhyde fournit un mélange très complexe dans lequel le sucre recherché est très minoritaire. Même si les argiles catalysent efficacement la formation des chaînes de nucléotides, la synthèse des nucléotides, combinaison d'un phosphate, d'un sucre et d'une base, n'a pas pu être reproduite en laboratoire dans des conditions simples simulants l'environnement de la Terre primitive. Les chimistes ont alors cherché à tourner la difficulté en exploitant des analogues, succédanés des ARN. Les travaux, en cours, ont déjà donné des résultats encourageants. Cependant, la formation prébiotique d'ARN demeure encore inexploitée.

Une vie primitive pré-cellulaire

Dans les années 1980, les biologistes ont découvert que certains ARN, les ribozymes, étaient capables non seulement de véhiculer l'information mais aussi d'exercer une activité catalytique, comme les enzymes protéiques. Très vite s'est développé l'idée d'un monde d'ARN berceau de la vie sur Terre. Le monde d'ARN a constitué vraisemblablement un épisode dans l'histoire de la vie. Le fait que l'étape clé de la formation de la liaison peptidique au cours de la biosynthèse des protéines se fasse par catalyse de l'ARN sans intervention quelconque d'un acide aminé et la découverte récente des Mimivirus à ADN, macrovirus possédant des gènes communs à tous les organismes des trois branches du vivant, eucaryotes, bactéries et archa, étayent l'idée d'un monde d'ARN ancestral. Reste maintenant à comprendre la formation prébiotique de l'ARN qui n'a trouvé, à ce jour, aucune explication convaincante. Il est raisonnable de penser que l'émergence du monde de l'ARN ait été préparée par des systèmes autocatalytiques plus simples ou par des catalyseurs produisant de l'ARN en grande quantités :

CHONS et H₂O => Robots ou catalyseurs => Monde viral à ARN => Cellules (avec ARN, protéines et membranes)

Lorsque deux molécules A et B réagissent pour former une nouvelle molécule A-B, il arrive quelques fois que le produit de la réaction A-B reconnaisse et organise les éléments A et B, favorise leur couplage chimique et catalyse ainsi sa propre formation. Ce type d'assistance chimique, appelé autocatalyse, est courant en chimie. Cependant, les molécules A-B reproduites par autocatalyse ne comportent que deux "lettres" car A et B ne peuvent être liés que d'un côté. De ce fait, l'information reste qualitativement pauvre, comme serait pauvre une langue n'utilisant que des mots à deux lettres. Comme pour l'écriture, l'emploi de molécules bifonctionnelles va permettre d'enrichir l'information à l'infini. Se pose alors un évident problème de sélection car maintenant A et B vont pouvoir former A-B, certes, mais également A-A, B-A et B-B. L'auto-reproduction recherchée devra donc obligatoirement associer autocatalyse et sélection, ce qui, en dehors des ARN biologiques et de leurs analogues, n'a pas encore été réalisé en tube à essais. Certains scientifiques pensent que l'autocatalyse s'est développée sur des surfaces minérales. Ils favorisent l'hypothèse selon laquelle des systèmes chimiques utilisaient directement le dioxyde de carbone comme source de carbone, à l'instar des plantes et de certaines bactéries. Ces organismes vivants primitifs sont décrits comme des molécules organiques autocatalytiques se développant sur des surfaces minérales de pyrite FeS₂. Comme mentionné, la réaction du fer ferreux sur l'hydrogène sulfureux produit d'une part de l'hydrogène qui réduit le dioxyde de carbone et de la pyrite qui sert de support minéral à la croissance autocatalytique du réseau organique. De ce fait, il y a croissance simultanée

du réseau organique et du support minéral. Le départ des molécules organiques de la surface minérale au profit de molécules mieux adaptées à la surface permet au système d'évoluer en se perfectionnant. L'idée d'une participation active des surfaces minérales, émise dès 1953 par l'Anglais J. Desmond Bernal, connaît depuis peu un regain d'intérêt et de nombreux laboratoires se sont lancés dans cette chimie on the rocks.

A la recherche d'automates fossilisés

Les roches les plus anciennes susceptibles de présenter des traces de vie sont des sédiments vieux de quelque 3,75 milliards d'années découverts dans le sud-ouest du Groënland. Ces sédiments témoignent de la présence permanente d'eau liquide, de gaz carbonique dans l'atmosphère et renferment des kérogènes, molécules organiques complexes dont les atomes de carbone sont enrichis en isotope 12. D'une manière générale, les molécules biologiques produites par photosynthèse sont caractérisées par un enrichissement en ^{12}C par rapport aux carbonates minéraux. Ainsi, le rapport $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ passe de 88,99 pour les carbonates minéraux de référence à des valeurs comprises entre 90,8 et 91,7 pour les molécules organiques biologiques. Ce rapport est compris entre 90,2 et 92,4 pour la matière organique des sédiments du Groenland. Ces valeurs suggèrent, mais ne prouvent pas de manière absolue, l'existence d'une activité photosynthétique, donc d'une vie primitive, il y a 3,8 milliards d'années. En effet, cette matière organique très ancienne (quelques fois réduite à des cristaux de graphite) a subi d'importantes modifications au cours de la diagenèse. Le produit final de cette dégradation, les kérogènes, se composent de macromolécules complexes stables résistantes, qui peuvent même être transformées en graphite pur pendant le métamorphisme. Tous ces traitements ont très bien pu générer les enrichissements en ^{12}C observés. Il faut aussi se méfier terriblement de la contamination éventuelle de ces roches par des microorganismes plus récents, contamination qui va, évidemment, biaiser les analyses. A cause des multiples transformations subies par ces roches, il y a fort peu de chances d'y retrouver des vestiges de microfossiles. Effectivement, aucune structure ressemblant à des bactéries fossiles n'ont été découvertes dans les sédiments du Groënland.

Les microorganismes fossiles les plus anciens ont été trouvés dans les sédiments de Barberton en Afrique du Sud et du Pilbara en Australie. Ces sédiments, vieux de 3,2 à 3,5 milliards d'années, sont légèrement plus jeunes que les roches du Groënland. Les sédiments sont bien conservés et montrent l'existence d'une vie foisonnante dans des eaux littorales de faible profondeur, et peut-être même proche de la surface de l'eau (certains biofilms présentent une structure lamellée qui semble indiquer une vie bactérienne utilisant déjà l'énergie solaire). Les microfossiles identifiés comprennent des structures filamenteuses longues de dix à quelques centaines de microns de long, des bâtonnets de quelques microns de long et des structures sphériques et ovoïdes d'environ 1 micron de diamètre. Ces structures ont été attribuées à des bactéries fossilisées. La quantité de carbone restant liée à ces microfossiles est généralement très faible (entre 0,01-0,5% avec des pointes exceptionnelles à 1%) ce qui rend l'analyse du carbone organique particulièrement difficile. Les isotopes du carbone ont cependant pu être mesurés et présentent un enrichissement variable mais néanmoins significatif en carbone 12.

Arguant d'une ressemblance entre les cyanobactéries modernes et les microfossiles du Pilbara, William Schopf, de l'université de Los Angeles, a décrit ces derniers comme étant des fossiles de cyanobactéries. Ces bactéries ancestrales auraient donc déjà pratiqué la photosynthèse oxygénée. Interprétation très importante car elle ferait remonter la photosynthèse oxygénée loin en arrière dans les temps géologiques alors que les indices biochimiques les plus anciens de la photosynthèse oxygénée trouvés dans des schistes carbonés, également en Australie, ne remontent qu'à 2,7 milliards d'années. Selon l'Anglais Martin Brasier, de l'université d'Oxford, les structures seraient bien constituées de matière carbonée organique enrichie en carbone 12 (ce qui habituellement signe une origine biologique), mais la matière organique serait d'origine purement chimique et non biologique. Elle pourrait provenir de la réaction de l'hydrogène sur le monoxyde de carbone (réaction dite de Fischer-Tropsch), deux gaz présents dans les fluides des sources hydrothermales. L'accumulation de la matière organique en microstructures serait due à la cristallisation du quartz dans la veine hydrothermale, l'enrichissement important en carbone 12 résultant de processus purement chimiques. L'explication de Brasier n'est cependant pas

totallement convaincante car on voit mal comment la réaction de Fischer-Tropsch pourrait produire des macromolécules aussi complexes que les kérogènes (matière organique complexe, insoluble dans les solvants usuels) déposés dans les veines hydrothermales. Une explication intermédiaire pourrait être apportée par les travaux réalisés à Orléans, au Centre de biophysique moléculaire du CNRS, par Frances Westall. Des morphologies de microfossiles tels que biofilms, polymères, coques, filaments, bâtonnets, ont été observés au microscope électronique dans des échantillons de silice prélevés à Pilbara dans des zones jouxtant les veines hydrothermales de Schopf, mais jamais à l'intérieur même des veines hydrothermales. Ces morphologies contiennent du carbone identifié par microanalyse au microscope électronique. Il semble bien que les bactéries ancestrales vivaient, puis ont été fossilisées, dans des roches sédimentaires au voisinage des veines hydrothermales. Les veines hydrothermales ont très bien pu entraîner la matière organique des bactéries mortes et/ou fossilisées (donc enrichis en carbone 12), matière organique qui aurait été redéposée plus haut dans les veines hydrothermales, pour former les fameuses structures carbonées complexes décrites par Schopf. Les structures de Schopf ne seraient donc que des restes de matière organique bactérienne et non pas des bactéries fossilisées. Cette explication est donc intermédiaire entre le tout bactérien de Schopf et le tout chimique de Brasier. Elle conforte néanmoins la présence de vie bactérienne il y a environ 3,5 milliards d'années. Il faut hélas se rendre à l'évidence : l'espoir de retrouver des petits automates chimiques fossilisés depuis 4 milliards d'années, ou même des molécules organiques qui constituaient ces automates, est pratiquement nul. En effet, quatre facteurs ont contribué à effacer leurs indices sur Terre : l'histoire géologique mouvementée de la Terre (et en particulier la tectonique de plaque), l'érosion due à la présence permanente d'eau liquide, les effets délétères du rayonnement solaire en absence d'une couche d'ozone protectrice pendant 2 milliards d'années et la vie elle-même qui produit d'énormes quantités d'oxygène il y a 2 milliards d'années, un poison pour les molécules organiques réduites. Les premières pages du livre de l'histoire de la vie vont probablement rester blanches à tout jamais.

Un automate chimique ne pourra être facilement reconstitué en tube à essais que s'il est simple. La datation des cratères d'impacts lunaires suggère que les planètes du système solaire ont été soumises à un bombardement intense il y a 4 milliards d'années au moment où la vie a probablement fait son apparition sur Terre. Un petit nombre de ces impacts fut capable d'évaporer toute l'eau des océans primitifs. De ce fait, les automates chimiques devaient être suffisamment robustes pour pouvoir survivre aux impacts météoritiques et cométaires et éventuellement redémarrer après les plus gros impacts. Il est raisonnable de penser que pour être robuste, la vie primitive devait être relativement simple et capable d'être répétée en plusieurs exemplaires.

Apporter la preuve de la relative simplicité des automates primitifs

La découverte d'autres exemplaires de vies sur d'autres corps célestes conforterait la relative simplicité de l'origine de la vie en apportant la preuve de son caractère répétitif. En identifiant à ce jour plus de quatre-vingt molécules organiques dans le milieu interstellaire, et en particulier le formaldéhyde et l'acide cyanhydrique, les radioastronomes ont démontré que la chimie organique est universelle. Il ne reste plus maintenant qu'à rechercher la présence permanente d'eau liquide. Présente en surface, elle révèle l'existence d'une atmosphère qui permet l'apport en douceur des molécules organiques par le biais des micrométéorites. Comme les molécules organiques peuvent également se former dans les sources chaudes sous-marines, tout océan extraterrestre présentant les signes d'une activité hydrothermale constitue également un habitat biotique possible. La planète Mars est l'objet d'une attention toute particulière. Les lits d'écoulements asséchés observés par les missions martiennes Mariner 9, Viking 1 et 2, Mars Pathfinder et Mars Global Surveyor indiquent clairement que Mars a connu dans sa jeunesse des écoulements permanents de fluides. Ecoulement d'eau ? De glaciers ? De neige carbonique ? La sonde martienne Odyssey placée en 2001 en orbite martienne par la Nasa était émise par le sol martien après spectromètre qui mesure les rayons impact des rayons cosmiques. Ce spectromètre a détecté de très importantes quantités d'atomes d'hydrogène présents en surface aux pôles mais également à soixante centimètres dans le proche sous-sol martien jusqu'à 60° de latitude nord et sud. La présence d'hydrogène signe la présence de glace d'eau, permettant ainsi d'attribuer la formation des lits d'écoulement à la

présence d'eau liquide coulant jadis à la surface de Mars. La présence permanente d'eau suppose une température constamment supérieure à 0°C, température atteinte probablement grâce à l'existence d'une atmosphère dense générant un effet de serre important.

Grâce à cette atmosphère, la planète a pu accumuler des micrométéorites à sa surface à l'instar de la Terre. En 1976, les deux sondes Viking ne détectèrent ni molécules organiques ni vie à la surface de Mars sur une profondeur de quelques centimètres. En fait, le sol martien semble renfermer des oxydants puissants produits par le rayonnement solaire dans l'atmosphère et/ou par des processus photochimiques au niveau du sol. La présence d'oxydants exclut toute accumulation de molécules organiques à la surface de la planète. Des calculs de simulation suggèrent que la diffusion des oxydants dans le sous-sol ne devrait pas dépasser une profondeur de trois mètres. L'absence de matière organique à la surface de Mars pourrait également être due à des processus de dégradation directe par les UV solaires, l'atmosphère martienne ne possédant pas de couche protectrice d'ozone. Les sondes Viking n'ont pas trouvé de molécules organiques à la surface de Mars mais on dispose en mai 2005 de 34 météorites qui sont généralement considérées comme provenant de Mars. Ce sont les météorites SNC, dont la fameuse météorite ALH 84001 présentée comme renfermant des nanobactéries martiennes fossilisées. Cette affirmation est aujourd'hui de plus en plus battue en brèche. Les soi-disant "microfossiles" se sont très probablement formés par des processus minéraux consécutifs à des infiltrations d'eau terrestre. La présence de cristaux de magnétite présentée comme preuve de la présence de vie martienne dans la météorite n'est pas non plus convaincante dans la mesure où des cristaux identiques ont été obtenus en laboratoire, d'une manière non biologique. Cependant, certaines de ces météorites SNC renferment des molécules organiques. Les ingrédients qui ont permis l'apparition de la vie sur Terre étaient donc rassemblées sur Mars. Il est dès lors tentant de penser qu'une vie élémentaire utilisant les mêmes ingrédients que la vie terrestre ait pu apparaître et se développer sur la planète rouge. En 1997, le robot martien Sojourner a analysé six sols et cinq roches autour du site d'atterrissage dans Ares Vallis. Les sols analysés sont tous identiques et très proches des sols analysés par les sondes Viking. Les roches, analysées sur quelques microns seulement, sont partiellement recouvertes de poussière du sol. La composition des roches rappelle celle de certains granites terrestres et se rapproche de celle de la croûte terrestre. Cependant, les résultats obtenus sont insuffisants pour pouvoir trancher entre une origine volcanique et sédimentaire. En 2004 et 2005, les deux rovers américains, posés dans Gusev Crater et Meridiani Planum, respectivement, ont confirmé la présence passée d'eau liquide à la surface de Mars. Plus particulièrement, Opportunity a révélé des affleurements de roches sédimentaires renfermant de l'hématite et de la jarosite déposées à partir de solutions aqueuses.

Le 2 juin 2003, l'Agence spatiale européenne a lancé la mission martienne Mars Express du pas de tir de Baïkonour. La mission a placé un orbiteur muni de caméras stéréoscopiques, de différents spectromètres pour analyser l'atmosphère et la composition du sol et d'un radar capable de fouiller le sol sur plusieurs kilomètres pour y rechercher l'eau liquide et la glace. Peu après sa mise en orbite en décembre 2003, le spectromètre Oméga de Mars Express, piloté par Jean-Pierre Bibring, a confirmé la présence de glace d'eau au niveau de la calotte polaire Sud et les dépôts de sulfates. La caméra stéréoscopique HRSC à haute résolution de l'Allemand Gerhard Neukum a mis en évidence des terrains volcaniques et glaciaires bien plus jeunes que tout ce que l'on connaissait. Le spectromètre PFS (Planetary Fourier spectrometer) de l'Italien Vittorio Formisano a détecté du méthane et de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars à la verticale d'Arabia Terra, un sol riche en glace comme l'a montré Mars Odyssey. La teneur en méthane varierait entre 10 et 30 parties par milliard en volume. Le méthane a aussi été détecté depuis la Terre par les observatoires de Hawaï et du Chili. Comme la durée de vie du méthane n'est que de 300 ans dans les conditions martiennes, il faut envisager une production permanente de ce gaz. Origine géologique due à un volcanisme résiduel ou origine biologique due à des bactéries méthanogènes ? Pour pouvoir trancher entre ces deux options, il faudrait disposer d'autres biomarqueurs gazeux comme l'ammoniac, et/ou le formaldéhyde dont les durées de vie sont très courtes sous le climat martien. Un atterrisseur, appelée Beagle 2 en hommage au bateau de Charles Darwin, devait poser une station d'analyse martienne d'environ dix kilos à la surface de Mars capable de prélever des échantillons dans le proche sous-sol à l'aide d'une "taupe" auto-enfouisseuse et dans les roches de surface à l'aide d'un bras manipulateur. Le bras manipulateur devait placer contre les roches de surface un broyeur/carottier, une caméra, un

microscope, un spectromètre à rayon X (donnant la composition en éléments chimiques) et un spectromètre Mössbauer (donnant le degré d'oxydation du fer). Les échantillons prélevés devaient être analysés par un spectromètre de masse installé sur l'atterrisseur après combustion par pallier de températures, technique permettant d'analyser les molécules organiques en déterminant leur nature, minérale ou organique, ainsi que les distributions isotopiques. La sonde Beagle 2 s'est correctement séparée de l'orbiteur Mars Express en décembre 2003 mais n'a plus jamais donné signe de vie depuis cette date. Si la vie est apparue sur Mars, la recherche de ses vestiges fossilisés sera rendue plus facile que sur Terre par le fait que les sédiments martiens anciens n'ont pas été détruits par des processus tectoniques, contrairement aux sédiments terrestres.

Au-delà de Mars

Europe, le satellite de Jupiter, pourrait bien présenter des environnements marins ressemblant aux sources sous-marines terrestres. Europe est le plus petit des satellites de Jupiter avec un rayon légèrement inférieur à celui de la Lune. Il orbite à une distance d'environ six cent mille kilomètres de Jupiter, donc suffisamment près pour être réchauffé par l'effet de marée dû au champ gravitationnel très important de la planète géante. En 1979 et 1980, la mission Voyager avait déjà photographié Europe et montré que sa surface était recouverte par de la glace entaillée de profondes crevasses. Depuis, le vaisseau spatial Galileo a fourni de très belles images montrant, notamment des blocs de glace ayant pivoté sur eux-mêmes. La surface présente peu de cratères d'impacts ce qui suggère un remodelage continu de la surface par des phénomènes cryovolcaniques ou tectoniques. Selon l'un des modèles de structure interne proposé, il y aurait un océan d'eau liquide sous quelques dizaines de kilomètres de banquise, la chaleur nécessaire au maintien de l'eau à l'état liquide étant apportée par les fortes marées internes. La surface présente également des stries en forme d'arcs, interprétées comme provenant d'un stress dû à des marées océaniques sous-glaciaires. Des dépôts de sels ont été observés à la surface d'Europe par spectroscopie dans le proche infrarouge, dépôts qui pourraient provenir de remontées d'eau océanique salée. Enfin, Galileo a enregistré un champ magnétique induit dans le champ magnétique de Jupiter traduisant la présence d'un conducteur électrique. L'océan d'eau salée pourrait très bien jouer ce rôle de conducteur électrique. Toutes ces observations plaident en faveur de l'existence d'un océan sous-glaciaire d'eau salée. Il est maintenant important de savoir s'il existe sur Europe un magma capable de transférer la chaleur du cœur planétaire vers le fond océanique pour créer des sources hydrothermales et, par conséquent, des molécules organiques. L'énergie de marée induite par Jupiter est-elle suffisante pour fondre les silicates à des températures supérieures à 1200°C ? La mise en évidence d'un magma sur Europe fait partie des objectifs prioritaires de l'exploration d'Europe actuellement à l'étude. Si Europe a maintenu une activité de marée et une activité hydrothermale sous-glaciaire, une vie bactérienne a pu y apparaître et y est peut-être encore active aujourd'hui. Europe apparaît de plus en plus comme un lieu privilégié du système solaire pouvant héberger de l'eau liquide et une vie bactérienne en activité.

Le cas particulier de Titan

Titan, le plus gros satellite de Saturne, possède une atmosphère dense de 1,5 bar constituée essentiellement d'azote (plus de 90%) mais aussi de méthane et d'un peu d'hydrogène. L'atmosphère renferme également d'épais brouillards d'aérosols organiques. Les observations glanées par la mission Voyager et les mesures faites à partir de la Terre indiquent clairement la présence de nombreux hydrocarbures et de nitriles dans ce milieu. Parmi ces composés organiques figurent l'acide cyanhydrique, l'acétylène, le cyanoacétylène, véritables passages obligés de la chimie prébiotique. La modélisation des processus physicochimiques supposés se dérouler à la surface de Titan suggère la présence d'océan(s) de méthane et d'éthane liquide en équilibre avec les constituants de l'atmosphère. Titan représente un véritable laboratoire de production de composés prébiotiques à l'échelle planétaire. Bien que des traces de vapeur d'eau aient été récemment détectées par le satellite ISO dans la haute atmosphère, la température très basse (- 180°C) régnant près de la surface interdit la présence d'eau liquide. Les molécules ne peuvent donc pas évoluer vers une vie de type terrestre. La mission NASA-ESA Cassini-Huygens lancée en octobre 1997 a déposé la sonde Huygens à la surface de Titan le 14 janvier 2005 après plus de 7 années d'un

voyage interplanétaire d'environ 1,5 milliards de kilomètres. La sonde a photographié des lits d'écoulements asséchés façonnés vraisemblablement par du méthane liquide. Vers quels systèmes complexes évoluent ces molécules en l'absence d'eau ? Existe-t-il une vie exotique basée sur la chimie du carbone et le méthane liquide ? Les instruments de Huygens ont analysé les molécules organiques pendant 150 minutes. Malheureusement, la sonde Huygens ne portait aucun instrument capable de mesurer la chiralité de ces molécules organiques, véritable ligne de démarcation entre matière inerte et matière vivante.

Une vie extra-solaire

La chasse aux planètes extrasolaires se pratique habituellement en mesurant la perturbation apportée à l'étoile par la planète. En effet, lorsqu'une planète gravite autour d'une étoile, l'étoile elle-même se met à valser autour du centre de gravité commun étoile/planète. Plus la planète est massive et proche de l'étoile, plus la vitesse de rotation de l'étoile est grande. C'est ainsi que la vitesse du Soleil induite par Jupiter est de treize mètres par seconde tandis que celle induite par la Terre n'est que de dix centimètres par seconde. On peut rechercher une variation de la position de l'étoile dans le ciel mais la précision des instruments de mesure actuels ne permet pas encore une telle mesure. L'Agence spatiale européenne développe actuellement le projet interférométrique Gaia qui devrait détecter les planètes depuis l'espace. Gaia doit cartographier plus d'un milliard d'étoiles de notre galaxie, y compris les étoiles les plus proches du Soleil. On peut également observer des petites variations dans l'éloignement de l'étoile par rapport à l'observateur. Lorsqu'une étoile accompagnée d'une planète décrit un mouvement autour du centre de gravité commun, l'étoile s'éloigne et se rapproche périodiquement de l'observateur et la lumière qu'elle émet varie : la lumière est déplacée vers le bleu lorsque l'étoile se rapproche de l'observateur et vers le rouge lorsqu'elle s'en éloigne. La meilleure précision obtenue avec les instruments actuels est de quelques mètres par seconde, soit une planète de la taille de Jupiter ou supérieure à celle-ci. C'est la méthode qu'utilisèrent Michel Mayor et Didier Queloz à l'Observatoire de Haute-Provence. En septembre 1995, après un suivi systématique des vitesses d'une centaine d'étoiles, ils découvrirent la présence d'un corps de la moitié de Jupiter en orbite autour de l'étoile 51 Pegase. L'objet découvert était très proche de l'étoile et avait une température de 1500°C. Quatre mois plus tard, Marcy et Butler décrivaient deux objets ayant 2,8 et 6,4 fois la masse de Jupiter près des étoiles 70 Virgin dans la constellation de la Vierge et 47 Uma dans la constellation de la Grande Ours. Les objets sont situés plus loin de l'étoile. La planète 70 Virgin, géante et probablement gazeuse, est peu propice à la vie. Elle peut, cependant, à l'instar de Jupiter et Saturne, avoir des satellites de la taille de la Terre avec des températures permettant la présence d'eau liquide. Fin mai 2005, le catalogue comptait 155 planètes géantes extrasolaires, la plus petite d'entre elles représentant 14 fois la Terre. Enfin, la méthode dite des "transits" consiste à détecter l'ombre d'une planète lorsqu'elle passe devant son étoile et provoque une mini-éclipse. Il s'agit donc de mesurer la faible occultation passagère de l'étoile provoquée par le passage de la planète devant celle-ci. En mars 2005, cinq exoplanètes avaient pu être mises en évidence à l'aide de cette méthode. La mission française COROT, en préparation, a précisément pour objectif de détecter des planètes extrasolaires selon cette méthode, en plus des exoplanètes géantes détectable par la méthode des perturbations décrite plus haut. La variation de luminosité sera directement donnée par le rapport entre la surface apparente de la planète et celle de l'étoile, soit environ 0,01 % pour une planète de la taille de la Terre autour d'une étoile comme le Soleil., COROT devrait donc pouvoir détecter des planètes telluriques en orbite autour d'autres étoiles que notre Soleil. De plus COROT sera en mesure d'étudier la composition des atmosphères, et donc de détecter des planètes semblables à la Terre ou à Vénus.

La recherche de la vie sur les planètes extrasolaires ne peut se faire que par l'analyse spectrale de ses manifestations, singularités dans l'atmosphère et/ou message électromagnétique "intelligent" ([Seti], Search for Extraterrestrial Intelligences). L'atmosphère terrestre renferme en permanence 21% d'oxygène alors que les atmosphères des autres planètes du système solaire n'en renferment que des traces. L'oxygène dans l'atmosphère terrestre est une singularité à deux titres : il est surabondant par rapport à la croûte terrestre et il devrait normalement disparaître par recombinaison avec les roches. Sa présence permanente est, bien entendu, liée à l'existence d'une vie intense à la surface de la terre et ne manquerait pas d'attirer

l'attention de tout observateur extraterrestre à la recherche de la vie. La présence de grandes quantités d'oxygène atmosphérique va être révélée par la raie caractéristique de l'oxygène à 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre dans le spectre visible de la planète. Pour des raisons pratiques, il est plus facile de rechercher la signature de l'ozone O₃, dans le m. Dans l'hypothèse, extrêmement séduisante, où de l'infrarouge à 9,6 l'oxygène atmosphérique extraterrestre serait mis en évidence, les sceptiques ne manqueraient pas de faire remarquer que l'oxygène peut être produit par des mécanismes chimiques non biologiques. Quoi qu'il en soit, la présence simultanée d'ozone (donc d'oxygène), de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone apparaît aujourd'hui comme une signature probante d'une vie planétaire exploitant largement la photosynthèse. Vers 2020, deux projets seront dédiés à la recherche d'exoplanètes de type terrestre. Le projet américain TPF (Terrestrial Planet Finder) et le projet européen Darwin/IRSI (Infrared Space Interferometer). Ce dernier consiste à placer une flotille de six télescopes spatiaux qui seront couplés dans l'espace pour analyser les atmosphères planétaires par interférométrie et y rechercher des singularités dues à une activité biologique. Enfin, la détection par radioastronomie d'un signal électromagnétique "intelligent", signal provenant d'une civilisation extraterrestre ayant atteint un niveau suffisant de développement technologique, apporterait la preuve indéniable de l'existence d'une vie extraterrestre. Le programme d'étude mérite d'être soutenu même si, a priori, la probabilité pour qu'une vie bactérienne extrasolaire évolue vers des systèmes vivants exploitant l'électromagnétisme ou la lumière laser soit extrêmement faible.

Conclusion

L'année 2003 a marqué le cinquantième anniversaire de l'expérience remarquable de Miller. En démontrant qu'il était possible de former des acides aminés - les briques des protéines - à partir de méthane, le représentant le plus simple des molécules organiques, Miller suscita un énorme espoir : les chimistes allaient peut-être pouvoir reconstituer une vie primitive en tube à essais. Force est de constater que le rêve n'a pas encore été réalisé. Pendant de très nombreuses années, les chimistes se sont efforcés de reconstituer en laboratoire les trois familles de molécules indispensables au fonctionnement de la cellule : les molécules de l'information ARN et ADN, les molécules catalytiques et les molécules de compartimentation. Ils ont réussi à reconstituer des précurseurs de membranes et des mini-protéines. Par contre, les chimistes n'ont pas réussi à reconstituer les molécules d'ARN. Même si la vie cellulaire a été précédée par un monde vivant d'ARN capable de fournir à la fois le plan de montage et l'outil pour effectuer l'autoreproduction, le problème reste entier car la synthèse des ARN primitifs reste encore incomprise.

Les chances de succès vont dépendre de la simplicité des automates à construire. Aussi est-il important de découvrir un deuxième exemple de vie qui conforterait l'idée de simplicité en démontrant le caractère ubiquitaire de la vie. Ce nouveau rêve peut-il devenir réalité ? Les biologistes ont montré que la vie bactérienne peut survivre en s'adaptant à des conditions extrêmes (hautes et basses températures, hautes pressions, forte salinité) et à des environnements très diversifiés (fonds océaniques, sous-sol profond, pergélisol, espace), ce qui élargit considérablement l'éventail des niches biologiques extraterrestres. Les planétologues et les astronomes nous ont fait découvrir des habitats possibles dans le système solaire et même au-delà. A ce jour, la vie n'est connue que sur Terre et nul n'a le droit de généraliser à partir d'un seul exemple. C'est la raison pour laquelle la recherche d'une "seconde vie" est devenue une priorité scientifique pour les années à venir. Tant que l'on ne dispose que d'un seul exemplaire de vie, on ne peut pas exclure l'idée que la vie terrestre résulte de la rencontre extraordinaire et unique d'un très grand nombre de molécules. Si dans plusieurs décennies, aucun autre exemple de vie n'a été découvert dans les nombreux habitats extraterrestres répertoriés, aucun signal intelligent n'a été perçu, ni aucune vie n'a pu être reconstituée en tube à essais, alors il faudra accepter l'idée que la vie terrestre pourrait bien être unique, que nous sommes probablement seuls dans le vaste Univers et que nous ne saurons probablement jamais comment la matière devint vivante, voilà 4 milliards d'années sur une petite planète, ni trop grosse, ni trop petite....

Pour en savoir plus :**Livres**

L'évolution chimique et les origines de la vie, Brack, A. et Raulin, F., Masson (1991).
 La chimie du vivant. De la protéine à la photosynthèse, Brack, A. et Mathis, P., Quatre à Quatre, Le Pommier
 La vie est-elle universelle ? Brack, A. et Leclercq, B., EDP Sciences (2003).
 Et la matière devint vivante, Brack, A. Le Collège de la Cité, Editions Le Pommier(2004).

Chapitres d'ouvrages

Origine de la vie, Brack, A., CD Rom, Encyclopaedia Universalis (1997).
 L'asymétrie du vivant, Brack, A., Pour la Science, Dossier Hors-série "Les symétries de la nature",
 Juillet 1998, pp.36-43.
 Origine de la vie, Brack, A., Supplément de l'Encyclopaedia Universalis, pp.743-750 (1999).
 Sommes-nous seuls ? Brack, A., in Le Grand Livre du Ciel, Bordas, pp. 92-115 (1999)
 Origine et distribution possible de la vie dans l'Univers, Brack, A., in Qu'est-ce que la vie ?
 Université de Tous les Savoirs, Odile Jacob, pp.37-46 (2000).
 De l'origine de la vie terrestre à la vie dans l'Univers, Brack, A., in L'origine de la vie sur Terre et
 dans l'Univers : L'Environnement de la Terre primitive, Eds. M. Gargaud, D. Despois et J.P.
 Parisot, Presses Universitaires de Bordeaux, pp.17-28 (2001).
 De la naissance de la vie sur Terre à une vie universelle, Brack, A., in Sur les traces du vivant : de la
 Terre aux étoiles, Eds. F. Raulin-Cerceau, P. Lena et J. Schneider, Le Pommier, pp. 71-95
 (2002).
 La chimie de l'origine de la vie, Brack, A., in L'origine de la vie sur Terre et dans l'Univers : Les
 traces du vivant, Ed. M. Gargaud, Presses Universitaires de Bordeaux (2003) pp. 61-81.

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

Cahiers Clairaut Novembre 2011

André Brack

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

De tout temps, l'existence de vie au-delà de la Terre a nourri l'imaginaire humain. Mais comment définir la vie ? Sont considérés comme vivant, *a minima*, des systèmes moléculaires ouverts (recevant donc matière et énergie) capables de s'auto reproduire et d'évoluer, c'est-à-dire capables de produire plus d'eux-mêmes par eux-mêmes et capables de générer des systèmes plus aptes à se reproduire par suite de légères erreurs de copie.

Sur Terre, le passage de la matière à la vie se fit dans l'eau, véritable berceau de la vie, il y a 4 milliards d'années \pm 200 millions avec des molécules organiques construites sur un squelette d'atomes de carbone auxquels sont associés des atomes d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de soufre et de phosphore. La Terre primitive consistait en petits continents, ressemblant à l'Islande d'aujourd'hui, entourés de bassins d'eau peu profonde mais chaude, de l'ordre de 50 à 80 °C. La tectonique de plaques s'est apparemment mise en place dès les premiers 1,5 milliards d'années de la Terre. L'atmosphère de la Terre primitive était dominée par du dioxyde de carbone accompagné, dans une moindre mesure, par de l'azote et de la vapeur d'eau. Elle était dépourvue d'oxygène mais possédait probablement du méthane dont la teneur reste difficile à apprécier et fait toujours débat.

Il est admis que l'eau liquide était présente à la surface de la Terre peu de temps après sa formation, il y a plus de 4 milliards d'années, comme l'attestent les rapports isotopiques de l'oxygène mesurés dans un zircon, petit cristal de silicate de zirconium contenant des traces d'uranium et de thorium permettant de le dater, vieux de 4,4 milliards d'années retrouvé dans des sédiments d'Australie occidentale. Trop petite, comme la Lune et Mercure, la Terre aurait été incapable de retenir une atmosphère nécessaire au maintien de l'eau liquide à sa surface. Trop grosse, comme Saturne et Jupiter, elle aurait été gazeuse et la présence de l'eau n'y aurait pas été possible. Une planète trop près de son étoile va acquérir une température élevée sous l'effet du rayonnement stellaire. L'eau s'évapore en chargeant l'atmosphère de grandes quantités de vapeur d'eau qui contribuent à l'effet de serre et au réchauffement climatique. Le phénomène rétroactif risque d'entraîner un effet de serre divergent: l'eau de surface est transférée dans la haute atmosphère où elle est photodissociée en hydrogène, qui s'évade dans l'espace, et en oxygène qui se combine aux roches de la croûte planétaire. Une planète loin de son étoile peut abriter de l'eau liquide à sa surface si elle arrive à maintenir un effet de serre permanent. Toutefois, l'eau risque de provoquer sa propre disparition en dissolvant les gaz à effet de serre. Dissout par la pluie, les gaz à effet de serre vont se transformer en roches sédimentaires au fond des océans. L'effet de serre va s'atténuer, la température chuter au point de transformer toute l'eau en glace dans le sol pour former du pergélisol. Sur Terre, par exemple, le volcanisme et la tectonique de plaques recyclent le dioxyde de carbone en décomposant les carbonates enfouis dans le manteau par subduction. La position de la Terre est telle qu'elle n'a probablement jamais connu dans son histoire ni l'effet de serre divergent de Vénus, ni la glaciation divergente de Mars.

Les vertus de l'eau

Compte tenu de son poids moléculaire, l'eau devrait être un gaz à la surface de la Terre. Son état liquide résulte du réseau dense de liaisons hydrogène liant les atomes d'oxygène aux atomes d'hydrogène. En plus de son aptitude à former des liaisons hydrogène, l'eau possède un important moment dipolaire de 1.85 debye. Cet important moment dipolaire favorise la formation des groupes ionisés, NH_3^+ et COO^- , capables d'échanger des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau, augmentant d'autant leur solubilité.

L'eau organise les molécules organiques qui possèdent deux types de groupes chimiques carbonés, les groupes hydrophobes qui ne contiennent que des atomes de carbone et d'hydrogène et qui, de ce fait, sont

incapables de former des liaisons hydrogène et les groupes hydrophiles qui contiennent des atomes d'oxygène, d'azote et de soufre capables d'échanger des liaisons hydrogène avec l'eau. Lorsque ces deux groupes coexistent dans une même molécule, la dualité confère à cette molécule des géométries spécifiques. Lorsque les groupes sont séparés, comme dans les acides gras et les phospholipides, il se forme des micelles, des vésicules ou des liposomes par agrégation des groupes hydrophobes. En proche voisinage, les groupes hydrophiles et hydrophobes confèrent à la molécule des géométries spécifiques qui dépendent étroitement de l'ordonnement de ces groupes (la séquence), comme nous l'avons démontré au laboratoire avec des peptides synthétiques (mini-protéines).

L'eau est également un réactif chimique qui peut conduire certaines réactions chimiques à emprunter des chemins spécifiques. Un mélange constitué des acides aminés protéiques et non protéiques les plus abondants de la météorite de Murchison a été polymérisé dans l'eau, à Orléans. Le mélange isolé en fin de réaction a été enrichi en acides aminés protéiques. Dans cette réaction, l'eau joue un rôle déterminant car c'est elle qui oriente la réaction dans le sens souhaité. Par ailleurs, la synthèse d'un acide aminé se fait habituellement selon la réaction de Strecker qui implique l'acide cyanhydrique, un aldéhyde et l'ammoniac pour former un aminonitrile. Ce dernier ne peut se transformer en acide aminé qu'en présence de deux molécules d'eau.

L'eau produit des argiles par altération des silicates. Dès que l'eau fut présente à la surface de la Terre, de grandes quantités d'argiles furent en suspension dans les océans primitifs. Les argiles offrent une structure très ordonnée, une grande capacité d'adsorption et une protection contre les effets délétères des UV, elles concentrent les composés organiques et servent de matrice de polymérisation.

L'eau est un bon dissipateur de chaleur. Les fluides hydrothermaux grâce à la chaleur fournie en permanence par le magma constituent des réacteurs chimiques potentiels. Des températures élevées sont nécessaires pour mener à bien les synthèses organiques, mais elles présentent en même temps un sérieux danger car la survie des briques du vivant formées est très courte aux températures élevées. On peut cependant évoquer des phénomènes de trempage thermique de 350°C à 0°C puisque la température de l'eau des fonds océaniques est voisine de 0°C. Des chercheurs japonais ont réussi à polymériser la glycine, l'un des vingt acides aminés protéiques, en mimant les conditions de trempage thermique propre aux systèmes hydrothermaux sous marins.

Les vertus du carbone

Toute la vie terrestre repose sur la chimie macromoléculaire. Les polymères de nucléotides forment les acides nucléiques ADN et ARN, des polymères d'hydrates de carbone stockent l'énergie, des chaînes hydrocarbonées forment les lipides des membranes et des polymères d'acides aminés constituent les protéines. Toutes ces macromolécules sont construites sur une ossature d'atomes de carbone et la vie sur Terre serait tout simplement impossible sans cette ossature. Il est difficile d'imaginer un autre élément offrant la même propension à former les édifices de plus en plus complexes nécessaires au développement de la vie.

Le silicium est souvent proposé comme une alternative possible. Il est tétravalent comme le carbone et est donc susceptible de générer les édifices moléculaires de plus en plus sophistiqués permettant l'évolution des systèmes vivants. Situé juste en dessous du carbone dans le tableau périodique des éléments, l'atome de silicium est plus gros. Il s'en forme donc moins dans le cœur des étoiles et, de ce fait, il est moins abondant dans l'Univers. Cependant, de par le mode de formation du Système Solaire, le silicium s'est retrouvé être très abondant dans la croûte terrestre où il représente 27,7 % de celle-ci, contre 0,094 % pour le carbone. A la différence de son cousin le carbone, le silicium n'a donc jamais été une denrée rare sur Terre. Si la chimie macromoléculaire du silicium avait eu les qualités requises pour se développer sur Terre, elle aurait dû donner naissance à une vie fondée sur le silicium, bien plus qu'une vie fondée sur le carbone, beaucoup plus rare. Or il n'en est rien. De par sa taille plus grande, l'atome de silicium forme des liaisons généralement plus faibles avec les autres atomes et génère des polymères plus fragiles, du moins dans les conditions environnementales qui ont prévalu à la surface de la Terre tout au long de son histoire. Placé dans des conditions extrêmes de température

et de pression, le silicium peut néanmoins conduire à des polymères relativement stables mais se pose alors un problème de solubilité.

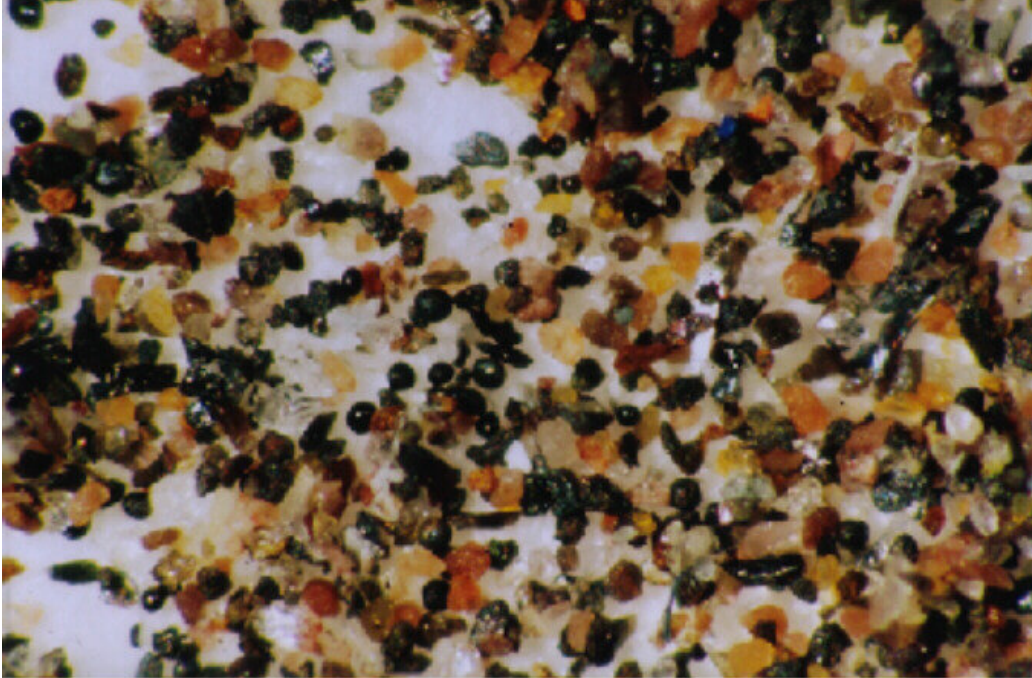
La production des molécules organiques de la « soupe primordiale »

Les formes de carbone les plus simples capables de produire des molécules organiques sont gazeuses : dioxyde de carbone et monoxyde de carbone pour les formes oxydées, méthane pour la forme réduite. Le premier scénario « organique » fut proposé par le biologiste et géologue anglais Charles Darwin lorsqu'il écrivait en 1871 au botaniste anglais Joseph Hooker : "Mais si (et quel énorme si !) l'on pouvait concevoir dans quelque petite mare chaude toutes sortes de sel d'ammonium et de phosphates, de la lumière, de la chaleur, de l'électricité etc., pour qu'un composé protéique puisse se former par voie chimique...". Le modèle d'une soupe primordiale fut perfectionné par Alexandre Oparin en 1924, puis par John Haldane en 1929, indépendamment du premier. Tous deux suggérèrent que les molécules organiques de la soupe furent synthétisées dans l'atmosphère terrestre. Oparin pensait que l'atmosphère primitive était dominée par le méthane alors que pour Haldane, les molécules organiques se seraient formées à partir de dioxyde de carbone. L'hypothèse d'Oparin se trouva confortée en 1953 par l'expérience de Stanley Miller qui obtint des acides aminés en soumettant un mélange de méthane, d'ammoniac, d'hydrogène et de vapeur d'eau à l'action d'un arc électrique simulant les orages de la Terre primitive. Mais l'atmosphère primitive était formée majoritairement de dioxyde de carbone, d'azote, d'eau avec des quantités mineures d'autres gaz tels que méthane, hydrogène sulfuré, monoxyde de carbone. Lorsque l'on refait l'expérience de Miller en passant progressivement du méthane au dioxyde de carbone, la production d'acides aminés devient de plus en plus faible. Si l'atmosphère primitive était réellement dominée par du dioxyde de carbone, elle ne pouvait probablement pas être la source exclusive de la matière organique nécessaire à l'émergence de la vie terrestre. Aujourd'hui, on estime que d'autres filières ont dû contribuer à la production de molécules organiques.

Les événements hydrothermaux présentent un environnement réducteur favorable à la synthèse des molécules organiques car les gaz qui s'en échappent sont riches en hydrogène, azote, oxyde de carbone, dioxyde de carbone, méthane, anhydride sulfureux, hydrogène sulfuré et l'énergie thermique est fournie en continu au système par le magma. Par exemple, les gaz qui s'échappent du système hydrothermal Rainbow sur la dorsale océanique au large des Açores renferment hydrogène, monoxyde et dioxyde de carbone, une situation favorable à la réaction de Fischer-Tropsch, une réaction connue pour produire des hydrocarbures à partir d'hydrogène et de monoxyde de carbone en présence de fer et à des températures de l'ordre de 150-300°C. Des hydrocarbures comprenant entre 16 et 29 atomes de carbone ont effectivement été détectés dans ces fluides. A ce jour, aucun acide aminé n'a pu être détecté dans les fluides hydrothermaux.

La source extraterrestre représente la troisième filière possible. Les météorites carbonées représentées typiquement par les météorites d'Orgueil et de Murchison, renferment des composés organiques comme des hydrocarbures aliphatiques. Des hydrocarbures aromatiques polycycliques, kérogènes et fullerènes sont également présents. Des composés plus proches des composés biologiques ont été identifiés: acides carboxyliques, acides aminés, hétérocycles azotés, amines, amides, alcools, etc. La météorite carbonée de Murchison renferme plus de 70 acides aminés différents. Au nombre de ceux-ci on trouve 8 acides aminés protéiques. Dans plusieurs météorites carbonées, il existe un excès de la forme gauche (la forme biologique) des acides aminés pouvant atteindre 9%. La découverte d'un rayonnement infrarouge polarisé circulairement dans le nuage moléculaire OMC1 de la nébuleuse d'Orion suggère que l'excès de forme gauche ayant conduit à la rupture de symétrie biologique pourrait avoir une origine extraterrestre. Des collectes de poussières interplanétaires dans les glaces du Groenland et de l'Antarctique par l'équipe de Michel Maurette permettent d'évaluer à environ 5×10^{24} g la quantité de micrométéorites accrétées par la Terre pendant les 200 millions d'années du bombardement intense. Considérant que 20 % en poids de ces micrométéorites ne fondent pas pendant la traversée atmosphérique et qu'elles contiennent en moyenne 2,5 % de carbone organique, la masse totale de kérogène livrée à la Terre fut de l'ordre de $2,5 \times 10^{22}$ g, représentant une couche de 40 m d'épaisseur de « marée noire » à la surface de la Terre. Pour donner un ordre de grandeur, cette valeur représente 25 000

fois la valeur actuelle du carbone biologique recyclé à la surface de la Terre ($\sim 10^{18}$ g). Un acide aminé, l'acide α -amino isobutyrique a été détecté dans une de ces micrométéorites.



Micrométéorites (50- 100 μ m) collectées dans la glace de l'Antarctique (crédit Michel Maurette)

La recherche d'une vie extraterrestre

La recherche d'une vie extraterrestre va se concentrer prioritairement sur les corps célestes présentant des conditions similaires à celles qui ont permis l'apparition de la vie terrestre, à savoir l'eau et les molécules organiques. Les molécules d'eau sont très répandues dans l'Univers car elles résultent de la combinaison d'hydrogène et d'oxygène, les deux éléments réactifs les plus répandus dans le cosmos où ils représentent respectivement 70 % et 0.92 % de la masse totale de la matière ordinaire. Quant aux molécules carbonées, les radioastronomes ont identifié dans l'espace interstellaire plus de 100 molécules contenant du carbone contre seulement 11 molécules contenant du silicium, montrant clairement que la chimie du carbone est plus créative que celle du silicium

Mars

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



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

La présence permanente d'eau suppose une température constamment voisine ou supérieure à 0°C, température atteinte probablement grâce à l'existence d'une atmosphère dense générant un effet de serre important. Grâce à cette atmosphère, la planète a pu accumuler des micrométéorites à sa surface à l'instar de la Terre. Les ingrédients qui ont permis l'apparition de la vie sur Terre étaient donc rassemblés sur Mars. Il est dès lors tentant de penser qu'une vie élémentaire de type terrestre ait pu apparaître et se développer sur la planète rouge. Les sondes Viking n'ont pas trouvé de molécules organiques à la surface de Mars mais certaines météorites SNC (d'après les trois classes de météorites Shergotty, Nakhla et Chassigny) renferment des molécules organiques. Ces météorites, aujourd'hui au nombre de 50, proviennent très probablement de Mars. Parmi elles figure la fameuse météorite ALH 84001 présentée comme renfermant des nano bactéries martiennes fossilisées. Cette interprétation est aujourd'hui abandonnée.

La mission américaine Mars Science Laboratory, lancé le 25 novembre 2011, aura précisément comme objectif de rechercher des indices d'une éventuelle vie martienne en 2012. Les espoirs européens reposent sur la mission ExoMars actuellement à l'étude pour un lancement en 2018.

Europe

Europe, le satellite de Jupiter, pourrait bien présenter des environnements marins ressemblant aux sources sous-marines terrestres. Europe tourne à une distance d'environ six cent mille kilomètres de Jupiter, donc suffisamment près pour être réchauffé par l'effet de marée dû au champ gravitationnel très important de la planète géante. La surface présente peu de cratères d'impacts ce qui suggère un remodelage continu de la surface par des phénomènes cryovolcaniques ou tectoniques. La sonde Galileo a enregistré un champ magnétique induit dans celui de Jupiter traduisant la présence d'un conducteur électrique, très probablement de l'eau salée. Des dépôts de sels ont été observés à la surface d'Europe par spectroscopie dans le proche infrarouge, dépôts qui pourraient provenir de remontées d'eau océanique salée. Toutes ces observations plaident en faveur de l'existence d'un océan sous-glaciaire sous quelques dizaines de kilomètres de banquise, la chaleur nécessaire au maintien de l'eau à l'état liquide étant apportée par les fortes marées internes. Il est maintenant

important de savoir s'il existe sur Europe un magma capable de transférer la chaleur du cœur planétaire vers le fond océanique pour créer des sources hydrothermales et, par conséquent, des molécules organiques. La mise en évidence d'un magma sur Europe fait partie des objectifs prioritaires de l'exploration d'Europe actuellement à l'étude. Si Europe a maintenu une activité de marée et une activité hydrothermale sous glaciaire, une vie microscopique a pu y apparaître et y est peut-être encore active aujourd'hui. Europe apparaît de plus en plus comme un lieu privilégié du système solaire pouvant héberger de l'eau liquide et une vie microscopique en activité.

Titan

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

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

Bien que des traces de vapeur d'eau aient été détectées par le satellite ISO dans la haute atmosphère, la température très basse, de l'ordre de -180°C , régnant près de la surface y interdit la présence d'eau liquide. Toutefois, les modèles de structure interne et les données de la mission Cassini-Huygens, suggèrent la présence d'aquifères profonds. Cet océan contiendrait de l'ordre de 10% d'ammoniac et aurait une épaisseur d'environ 100 km. Il serait situé entre deux épaisses couches de glace d'eau. Il est possible que pendant les premières dizaines de millions d'années qui ont suivi la formation de Titan, cet océan ait été en contact avec l'atmosphère sur un fond rocheux, une situation analogue à celle des océans terrestres. Il est dès lors possible d'y envisager l'émergence d'une vie.

Encelade

L'orbiteur saturnien Cassini a observé l'activité géophysique d'Encelade, un autre satellite de Saturne. Plusieurs des instruments de la mission ont mis en évidence la présence de gigantesques panaches de plusieurs centaines de kilomètres émis au pôle sud. Ces panaches sont principalement constitués de glace et de vapeur d'eau, mais contiennent aussi de nombreux composés organiques, méthane, acétylène, propane. Ces geysers pourraient provenir de réservoirs internes d'eau liquide sous pression, en contact avec un magma rocheux, hypothèse confortée par la présence de sel dans les panaches. Les conditions indispensables à l'apparition et au développement de la vie seraient donc présentes au sein d'Encelade.

Les exoplanètes

Au-delà du Système Solaire, la chimie organique est universelle. Il ne reste plus qu'à trouver de l'eau. Au 1^{er} décembre 2011, le catalogue des exoplanètes comptait 704 planètes extrasolaires. Les télescopes spatiaux COROT, lancée le 27 décembre 2006, et Kepler lancé le 6 mars 2009 ont déjà détecté des planètes telluriques en orbite autour d'autres étoiles mais, à ce jour, seule l'une d'elles aurait une température compatible avec la présence d'océans.. La recherche de la vie sur les planètes extrasolaires ne peut se faire que par l'analyse spectrale de ses manifestations, apparaissant comme des singularités dans l'atmosphère. C'est précisément le

cas de l'oxygène terrestre dont la présence permanente est liée à l'existence de la vie. Pour des raisons pratiques, il est plus facile de rechercher la signature de l'ozone O₃, dans le spectre infrarouge à 9,6 mm. La présence simultanée d'ozone (donc d'oxygène), de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone apparaît aujourd'hui comme une signature probante d'une vie planétaire exploitant largement la photosynthèse. Le projet européen Darwin/IRSI (Infrared Space Interferometer) consiste à placer une flottille de quatre télescopes spatiaux qui seront couplés dans l'espace pour analyser les atmosphères planétaires par interférométrie et y rechercher des singularités dues à une activité biologique.

Conclusion

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

Bibliographie

- La vie est-elle universelle? Brack, A. et Leclercq, B., EDP Sciences (2003).
 Et la matière devint vivante, Brack, A. Le Collège de la Cité, Editions Le Pommier (2004).
 Découvrir la vie extraterrestre, Brack, A., Minipomme, le Pommier (2007).
 Looking for life. Searching the Solar System. Clancy, P., Brack, A. et Horneck, G., Cambridge University Press, Cambridge (2005).
 La vie dans l'Univers, entre mythes et réalités, Brack, A. et Coliolo, F. Editions La Martinière (2009).
 Catalogue des exoplanètes : <http://www.obspm.fr/encycl/catalog.html>
 Catalogue des météorites martiennes : http://www.nirgal.net/meteori_table.html
 Catalogue des molécules interstellaires : http://www.astrochymist.org/astrochymist_ism.html