

**BULLETIN N° 160**  
**ACADÉMIE EUROPEENNE**  
**INTERDISCIPLINAIRE**  
**DES SCIENCES**



**Séance du mardi 13 décembre 2011**

**« Présentation d'un modèle constructible possible de système psychique »  
par notre Collègue Alain CARDON**

**Prochaine séance : mardi 10 janvier 2012 à 18heures Maison de l'AX:**

**Dans le cadre de la préparation du futur colloque**

**« *Origine des systèmes stellaires et conditions d'apparition de la vie* »**

**Conférence du Pr François RAULIN**

**Président de la Société Française d'Exobiologie**

**Pr Université Paris Est Créteil et Université Paris Diderot**

**« *L'exobiologie : Une jeune thématique interdisciplinaire exemplaire* »**

Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences

Siège Social : C/O Irène HERPE-LITWIN 39 rue Michel Ange 75016PARIS

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

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

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

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

**SECTION DE NICE** :  
**PRESIDENT** : Doyen René DARS

**SECTION DE NANCY** :  
**PRESIDENT** : Pr Pierre NABET

*Le Conseil d'Administration, le Bureau et le Président de l'Académie sont heureux de vous transmettre leurs meilleurs vœux pour l'année 2012*

Décembre 2011

**N°160**

## TABLE DES MATIERES

P. 03 Compte-rendu de la séance du mardi 13 décembre 2011  
 P. 13 Documents

**Prochaine séance: mardi 10 janvier 2012 à 18h- Maison de l'AX**  
**Dans le cadre de la préparation d'un futur colloque**  
**« Origine des systèmes stellaires et conditions d'apparition de la vie »**  
**Conférence du Pr François RAULIN**  
**Président de la Société Française d'Exobiologie**  
**Pr Université Paris Est Créteil et Université Paris Diderot**  
**«L'exobiologie : Une jeune thématique interdisciplinaire exemplaire »**

***ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE  
DES SCIENCES***

**Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.**

**Séance du  
Mardi 13 décembre 2011**

**Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur à 17heures 30.  
Salle 406**

La séance est ouverte à 17 h. 30 sous la Présidence de Victor MASTRANGELO et en la présence de nos collègues Gilbert BELAUBRE, Bruno BLONDEL, Michel CABANAC, Alain CARDON, Claude ELBAZ , Michel GONDRAN, Irène HERPE-LITWIN, Pierre MARCHAIS, Pierre PESQUIES,.

Etaient excusés François BEGON, Gilles COHEN-TANNOUDJI, Françoise DUTHEIL, Jean - Pierre FRANCOISE , Walter GONZALEZ, Marie-Louise LABAT, Saadi LAHLOU, Gérard LEVY, Jacques LEVY, Emmanuel NUNEZ, Alain STAHL

Etaient présents en tant qu'invités : Jean Paul BAQUIAST du site « Automates intelligents » et Hervé CHABROLLES .

Notre Président, Victor MASTRANGELO, avant de donner la parole à notre Collègue Alain CARDON nous rappelle le décès de notre Collègue Michel SCHOLL survenu le 14 novembre 2011 et nous demande de lui consacrer une minute de silence.

- I) Le premier point à l'Ordre du jour appelle la présentation par notre Collègue Alain CARDON de :

**« Un modèle de système psychique : approche calculable »**

Notre Collègue insiste sur la complexité du système à définir. Celui-ci est composé de très nombreux éléments calculant et manipulant de l'information impliquant une notion de processus et d'éléments proactifs. L'état du système étant lui-même défini par une structure spatio-temporelle représentant les communications entre les divers éléments à l'image des structures de réseaux neuronaux et le fonctionnement des synapses. Il insiste sur le fait qu'une information possède une source, un médium de transmission et un récepteur. Il insiste sur la notion de spécification et de concept. Il en existe des classes, des métaclasses, ils obéissent à des processus de distribution...

Par ailleurs il cherche à déterminer les notions de « soi » de « proto-soi » , d'autonomie, d'intention, d'émotion, de représentations mentales. Il insiste particulièrement sur la modélisation des pulsions, des systèmes plaisir-déplaisir. Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des transparents qui ont illustré sa conférence.

## Un modèle de système psychique : approche calculable

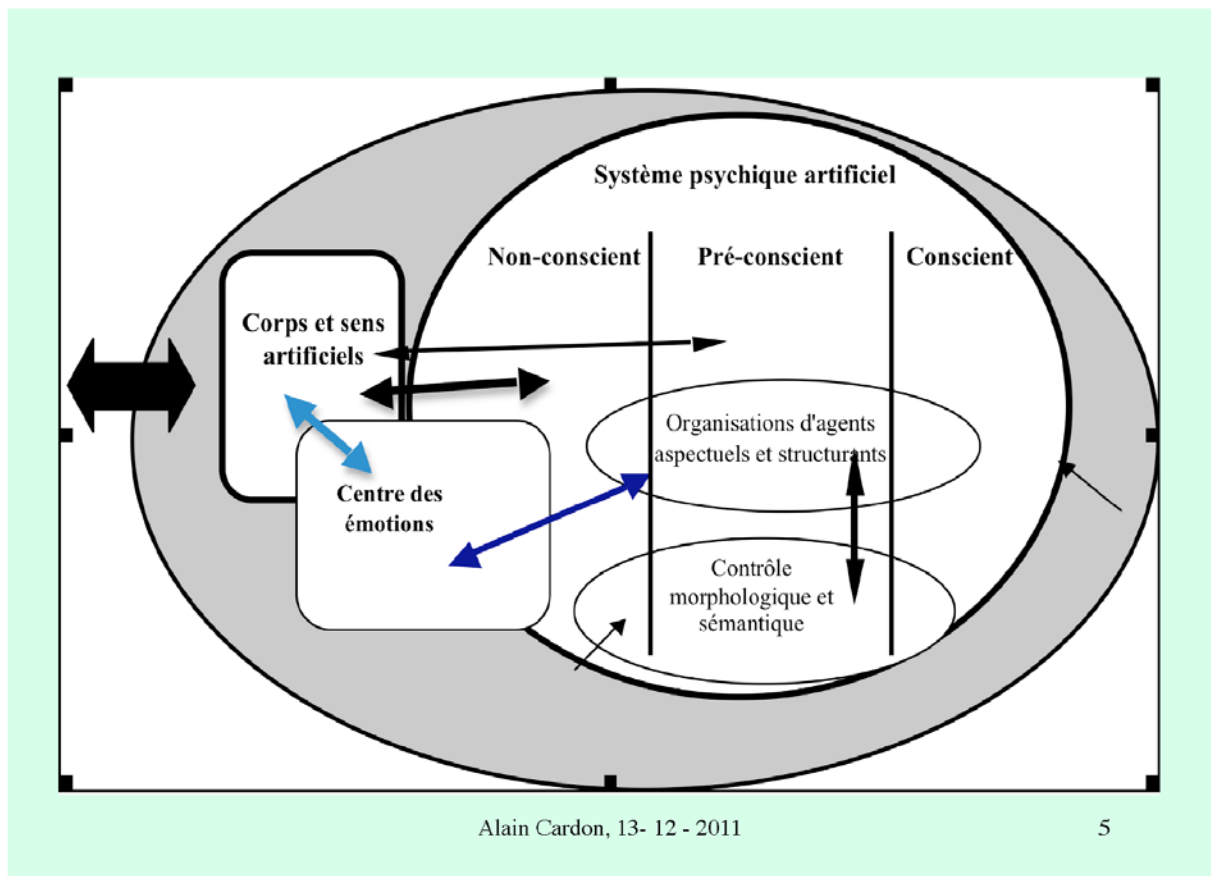
### Plan

- 1 Caractères généraux
- 2 Un système réduit : le proto-Soi
- 3 Système psychique complet
- 4 L'angoisse
- 5 Références

### 1 - Caractères généraux

#### Bases

- 1 Notion de système fini formé d'éléments très nombreux calculant et manipulant de l'information.
- 2 Notion de processus et d'élément proactif.
- 3 Notion d'état du système sous la forme d'une structure spatio-temporelle représentant les communications entre les éléments proactifs.
- 4 Notion de conformations morphologiques de cet ensemble = relation entre formes et significations



### Caractéristiques

- Un modèle informatique traite la manipulation de connaissances à de multiples niveaux, qui sont toutes représentées par des traitements d'informations.
- Une information nécessite une source, une cible et un médium (objet = identification, message, destinataire).
- Le problème est de gérer l'activation d'informations multiples sur de multiples structures de données dynamiques, avec des exécutions concurrentes (parallèles).

### Notion de spécification

1) Définition des « concepts » et de leurs relations :

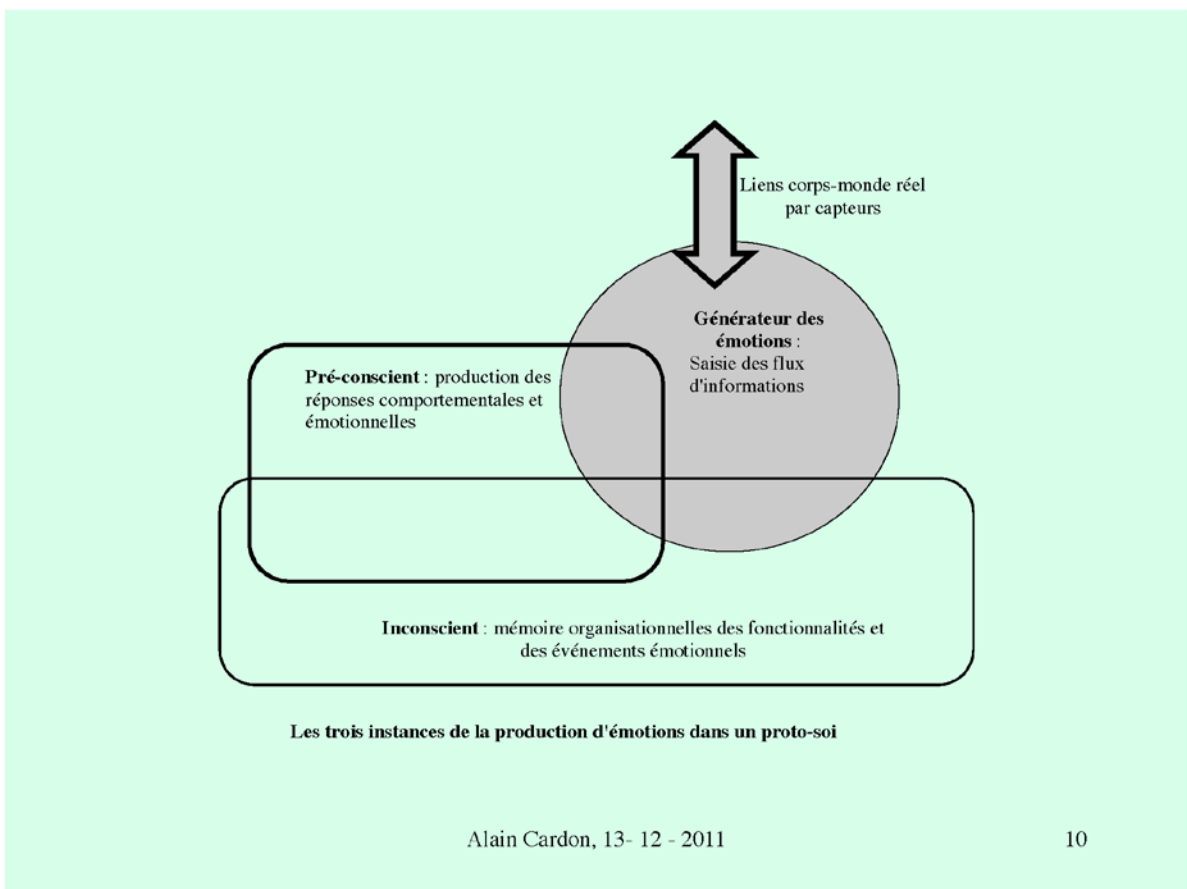
ontologies conceptuelles multiples définies selon le domaine (les connaissances préalables).

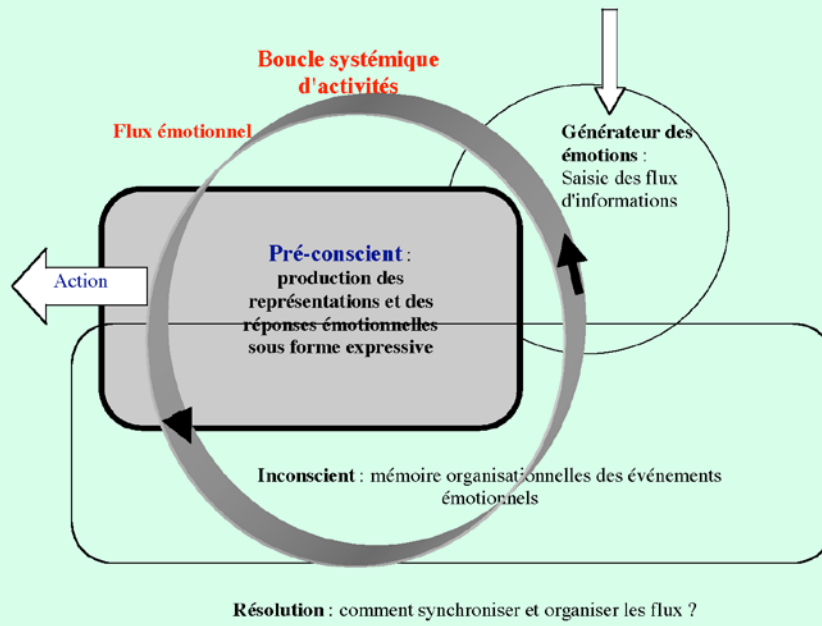
2) Représentation des concepts : classes, méta-classes, objets et méthodes, structures de données, processus, distribution des processus, parallélisme, synchronisation, files d'attente, clients-serveurs, réécriture automatique de code et génération en ligne de codes...

### 2 - Un système réduit : le proto-Soi

#### Un proto-Soi

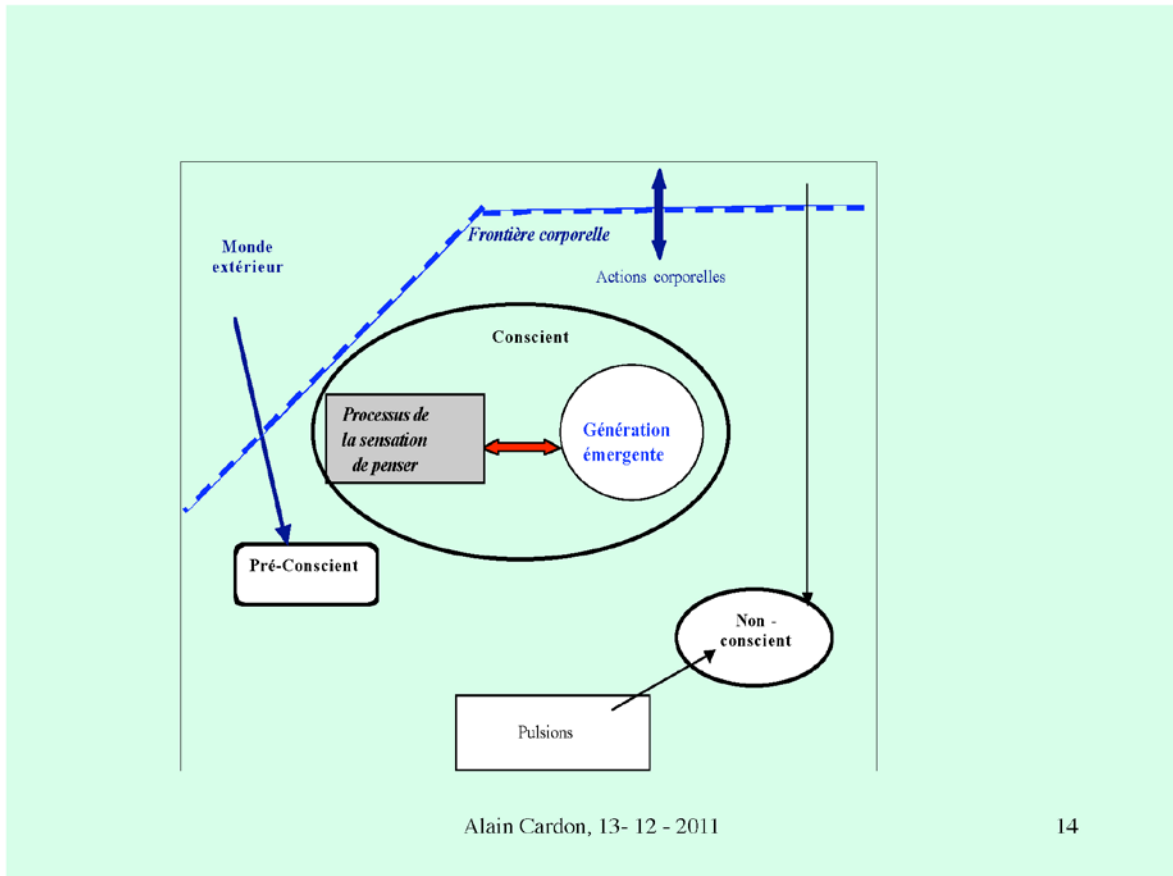
- Cas d'un système autonome avec des « intentions à base fonctionnelle » et sans conscience éprouvée :
  - Un générateur d'émotions lié aux capteurs
  - Un pré-conscient
  - Un non-conscient (mémoire organisationnelle avec les connaissances) avec des tendances
  - Un système activateur (effecteurs physiques)





**Questions...**

- Comment représenter une émotion et la production d'une émotion : surgissement, déploiement, effet ?
- Comment représenter l'autonomie comportementale du système générant des représentations ?
- Comment représenter les tendances fondamentales, l'intention, l'évolution des intentions et la mémorisation des événements ?
- Comment gérer la temporalité des processus émotionnels : durée, activation, altération, évolution...?

**3 - Le système psychique général**

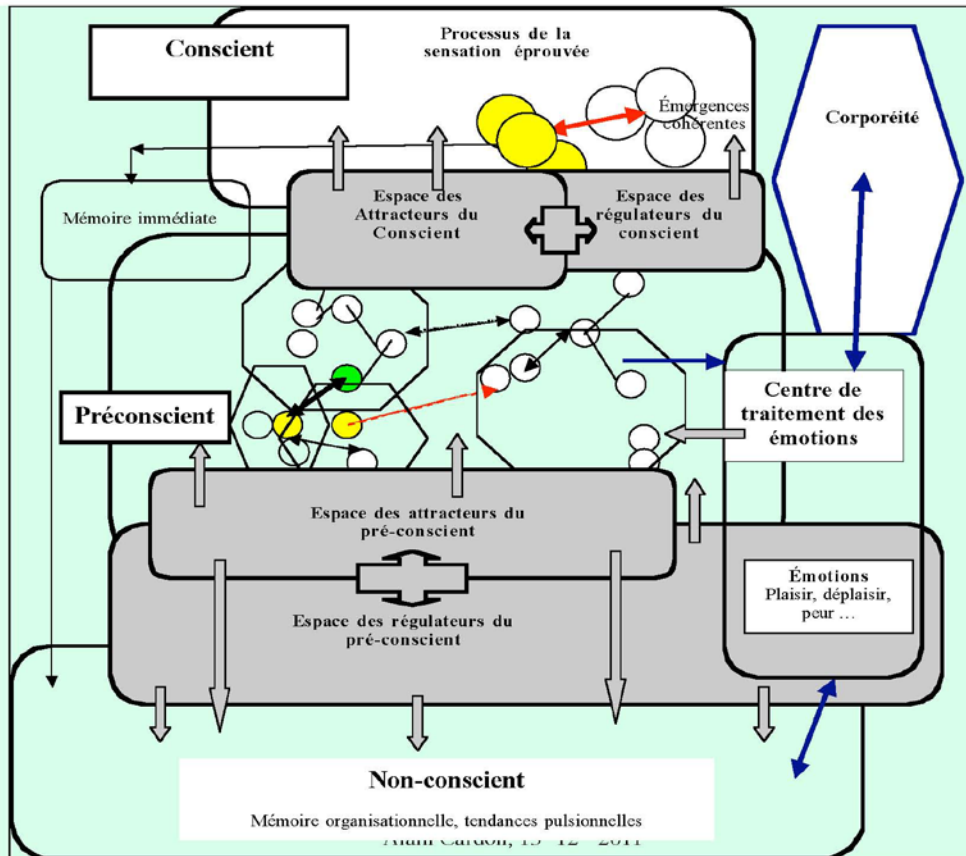
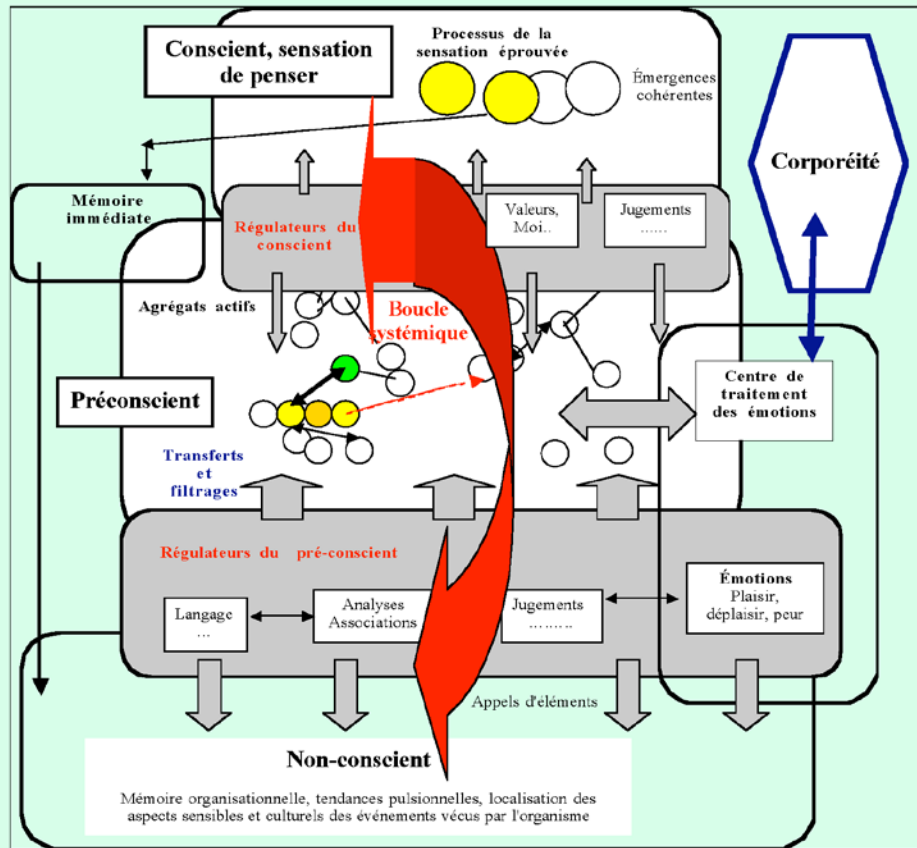
14

**Liens avec le système neuronal**

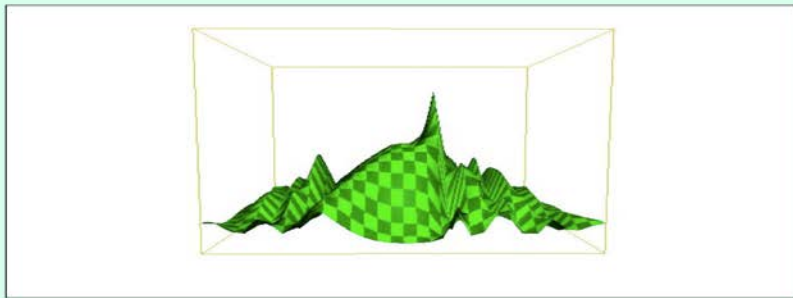
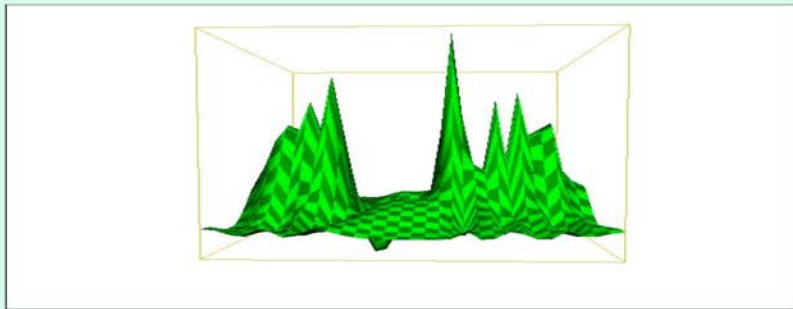
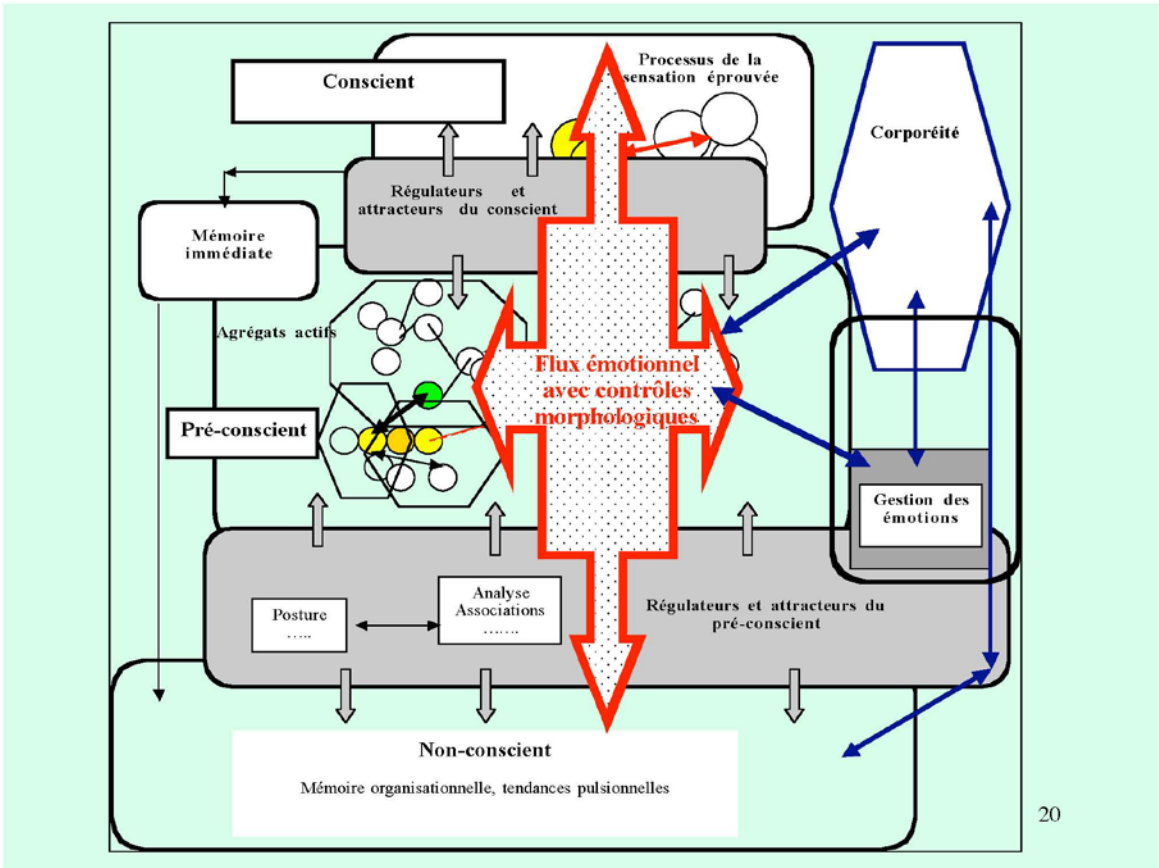
- Considérer le cerveau actif et ses neurones.
- Considérer des agrégats actifs de neurones déterminant des caractères permanents d'éléments de représentation = réseaux de réseaux d'activités.
- Considérer l'activité énergétique et informationnelle et le caractère représenté par chaque agrégat neuronal dynamique.
- Poser que chaque agrégat est un élément de base du modèle = un ou des agents aspectuels en activité.
- On obtient des nuages de nuages d'agents logiciels actifs

**Éléments du modèle**

- Système ouvert : communications incessantes
- Éléments de base : nuages d'agents logiciels = nuées d'éléments proactifs
- Évaluation morphologique de l'état de ces nuages : topologie de l'espace d'action des agents
- Contrôleurs :
  - Régulateurs : nuages de contrôleurs stabilisants à définir
  - Attracteurs : nuages d'attracteurs déstabilisants à définir
  - Contrôle du contrôle : boucle systémique méta opérant de manière multi-échelle et gérant la temporalité



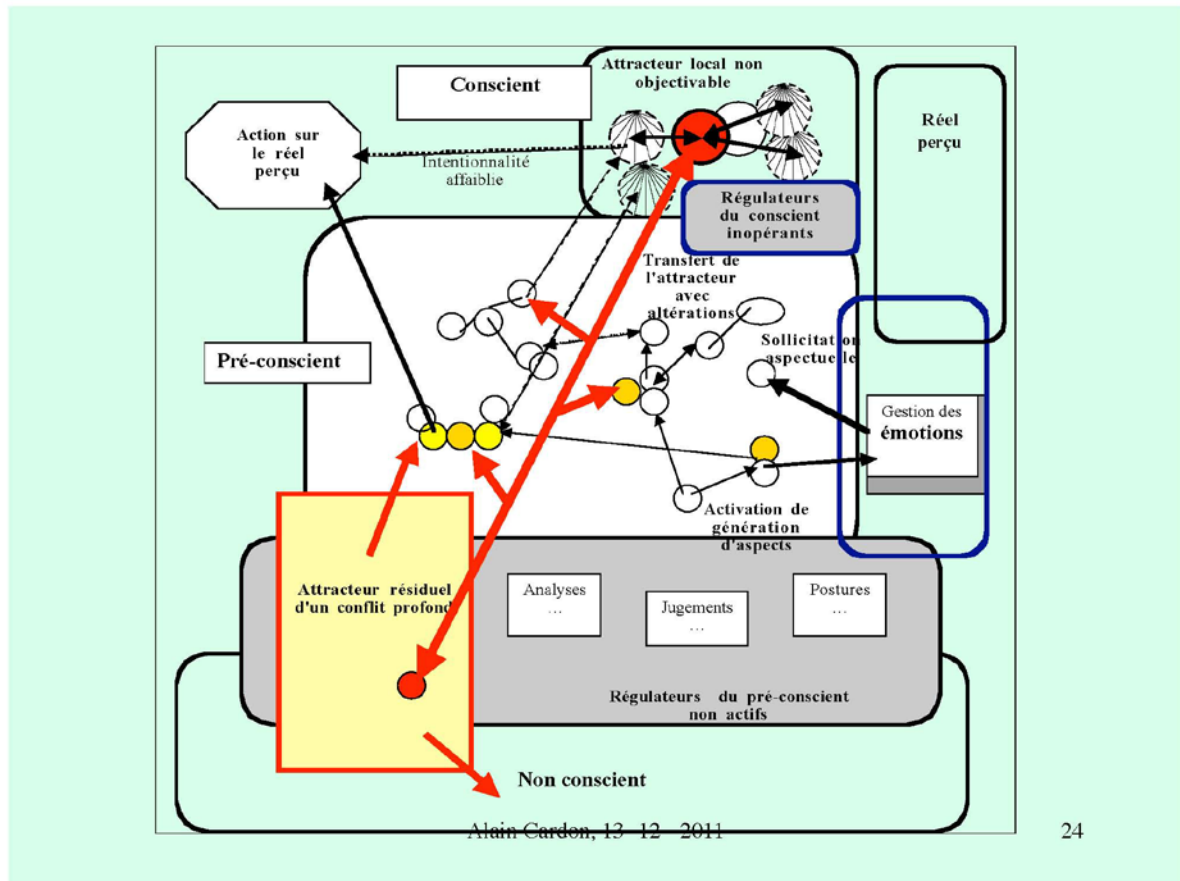




#### 4 - L'angoisse

Représentation de l'angoisse

- Situation de blocage de toute maîtrise de la sensation de penser intentionnellement dans le conscient avec ressenti de non libre arbitre et de vide de manière intense :
  - Rôle des attracteurs, localisation et diffusion
  - Rôle de la boucle organisationnelle
  - Étude du phénomène : fréquence (avec échelles) dans ce type de système



24

#### Axes de recherches

- Détermination et classification des régulateurs et des attracteurs : les tendances à l'intentionnalité à penser
- Détermination de la forme des nappes de contrôleurs : topologie des espaces complexes
- Précision fine de l'action organisationnelle de la boucle systémique : théorie de l'émergence.
- Structure d'un mot dans l'espace organisationnel

#### Recherches plus spécifiques

- Détermination complète d'un proto-Soi dans des domaines particuliers : véhicule appréciant son conducteur et réagissant à sa conduite ou jeu jouant avec lui-même.
- Caractérisations et spécifications des systèmes artificiels autonomes.
- Problème : utilisations non éthiques de ces travaux ?

**Publications**

- Marchais P., Cardon A., Troubles mentaux et interprétations informatiques, Contribution à l'étude du fonctionnement psychique, éd. L'Harmattan Paris, 2010

Sur le site Automates Intelligents :

- Un modèle constructible de système psychique, Cardon, Février 2011

- Vers le système de contrôle total, Cardon, Octobre 2011

<http://www.admiroutes.asso.fr/larevue/2011/121/controletotal.pdf>

II) Après cet exposé très complet, notre Président nous fait part des candidatures d'admission à l'AEIS :

du Pr Robert FRANCK.et de Jacques HENRI-ROBERT

1°) Robert FRANCK qui est *Professeur émérite de Philosophie à l'Université Catholique de Louvain*, a enseigné plus particulièrement la *Théorie de la Connaissance* et l'*Epistémologie*.( Il est intervenu dans ce domaine lors de notre précédent Colloque « Théories et Modèles en sciences sociales ») . Il est rédacteur de la série « *Methodos* » chez Springer ( *Methodological Prospects in the Social Sciences*) . Il souhaiterait donc faire partie de notre Académie dont il apprécie le caractère interdisciplinaire. Il souhaite également apporter sa contribution dans des domaines tels que :

- projets éditoriaux de l'Académie
- méthodologie générale des sciences *de l'homme*
- philosophie des sciences

Après lecture de sa lettre de motivation, il est procédé au vote concernant son admission.

Celle-ci est acceptée à la majorité des votants.

2°) Jacques HENRI-ROBERT , Vice-président de l'Union Régionale des Ingénieurs et Scientifiques de Paris Île de France du *Conseil National des Ingénieurs et des scientifiques de France*, et Commandeur dans l'*Ordre des Palmes Académiques* fait également acte de candidature à notre Académie. Etant donné son expérience de Vice-président de son association d'ingénieurs , il est, entre autres, prêt à nous aider dans des tâches de développement de notre association et de diffusion de nos travaux. Après lecture de sa lettre de motivation, il est procédé au vote sur son admission.

Celle-ci est également acceptée à la majorité des votants.

Nous nous réjouissons tous de l'intégration de ces deux nouveaux membres après quoi la séance prend fin,

Très amicalement,

Irène HERPE-LITWIN

## Documents

Pour donner un aperçu de la préparation du futur Colloque « *Origine des systèmes stellaires et conditions d'apparition de la vie* », nous vous proposons :

P. 14 le programme du Colloque du CNRS de 2006 sur « *Origines des planètes et de la vie* »  
<http://www.insu.cnrs.fr/co/actions-sur-projets/origines-des-planetes-et-de-la-vie>

Dans le cadre de la conférence du Pr François RAULIN sur l'exobiologie nous vous proposons deux textes communiqués par Pr François RAULIN :

p.19 : un texte dédié aux projets de recherche du Pr RAULIN : « Physico-chimie organique dans les environnements planétaires »

p.27 : De l'exobiologie à l'Astrobiologie tiré du site du CNRS <http://histoire-cnrs.revues.org/8883>

## Origines des planètes et de la vie

### Le colloque de lancement du nouveau programme interdisciplinaire du CNRS

- [Site du programme Origines des planètes et de la vie](#)
- **Du 5 au 7 décembre 2006, physiciens, chimistes, biologistes, géophysiciens, astrophysiciens et spécialistes de sciences humaines se sont réunis à Paris pour le colloque de lancement du nouveau programme interdisciplinaire du CNRS : "Origines des planètes et de la vie". L'existence d'autres "mondes" est une question ancienne et fondamentale pour l'humanité. Cette question, formulée de manières très différentes selon les époques et les contextes, est déclinée aujourd'hui de façon précise par les scientifiques.**



Nébuleuse d'Orion prise avec le télescope spatial Hubble. © HUBBLE/NASA.

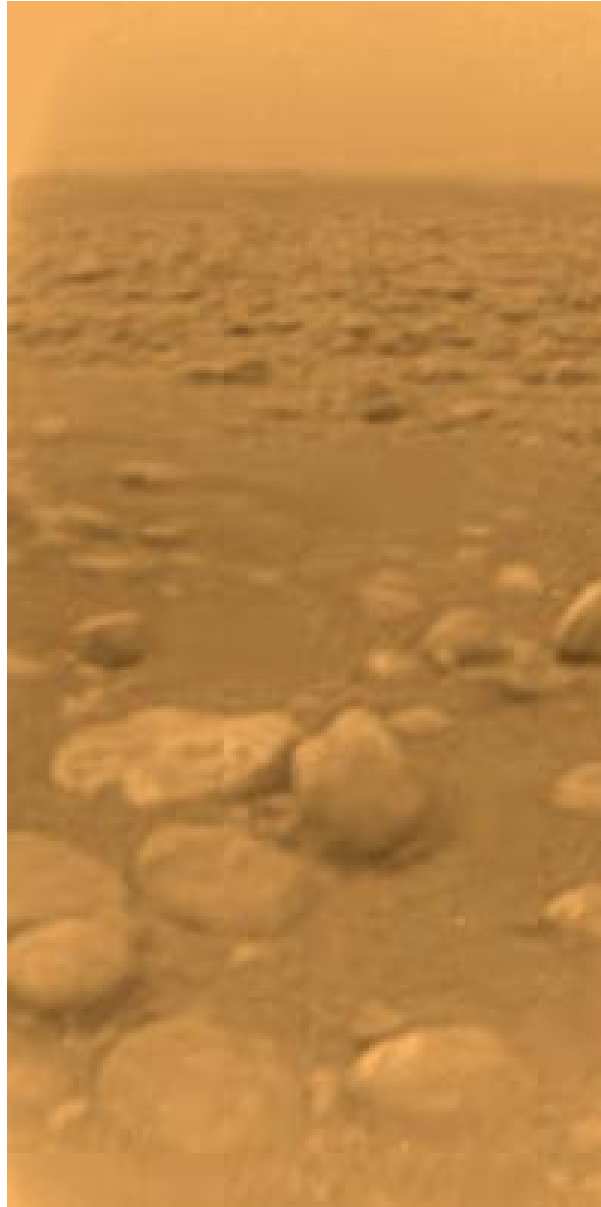
Lors du colloque "Origines des planètes et de la vie", il a été question : d'astronomie, tant du système solaire que d'autres systèmes avec les exoplanètes, des objets les plus anciens sur Terre et des premières traces de vie, de l'apparition de la vie du point de vue du physico-chimiste et du biologiste, des premières biomolécules conduisant à l'émergence de la vie, d'exobiologie, de la présence de vie sur Terre dans des conditions extrêmes, des perspectives en histoire et philosophie des sciences appliquées à la question des origines, des schémas explicatifs à l'œuvre dans les théories sur les origines de la vie, etc. Les chercheurs ont réalisé l'état des lieux de la thématique et ont commencé à ébaucher les orientations à donner à ce programme pour les quatre ans à venir.

Au cours de ces rencontres, différentes questions thématiques ont été ainsi abordées :

- Chronologies de l'évolution des objets (disques, planètes, systèmes vivants...).
- Formation des disques protoplanétaires et des systèmes (exo-)planétaires.



- Première image d'une exoplanète prise au VLT avec le système d'optique adaptative NACO.© NACO/VLT/ESO. LAOG. UCLA. OMP. CNRS. INSU.Histoire des solides, des fluides et des atmosphères.
- Histoire de la matière organique dans le système solaire et les systèmes planétaires.
- Particularités et généralité du système solaire.
- Différentiation des planètes et des satellites du système solaire : atmosphères, structure des noyaux , présence d'un champ magnétique, tectonique, etc.
- Zones habitables dans le système solaire et les systèmes planétaires extrasolaires : biosignatures et biomarqueurs, faux positifs et négatifs, etc.
- Niches pour la complexité moléculaire (système solaire et planétaires), interactions avec les proto-métabolismes (Terre), etc.
- Grandes étapes de la formation de la Terre jusqu'à l'apparition d'une atmosphère oxygénée.
- Etapes de la transition de l'inanimé vers le vivant primitif, origine et évolution des structurations (compartiments, chiralité...), des métabolismes, du code génétique, etc.



- La surface de Titan observée par la caméra DISR de la sonde Huygens.© ESA. NASA. JPL. University of Arizona.Reconstitution des conditions primitives, recherche de premières traces de vie sur Terre et dans le système solaire.
- Recherche des conditions extrêmes de la vie et de son apparition sur Terre, et conséquences pour la recherche de biomarqueurs.
- Recherche de formes minimales de cellule vivante : phylogénie moléculaire ancienne, mécanismes d'évolution, etc.
- Définitions et limites du vivant.
- Perspectives historiques, philosophiques, épistémologiques.
- Représentation intégrée des connaissances et des concepts et partage entre disciplines.

Le besoin de développements de codes numériques lourds, d'expériences de laboratoire, d'exploration de la Terre et du système solaire et d'observations télescopiques a été souligné.



Outre les présentations et discussions autour de ces questions, les participants ont travaillé en ateliers pour répondre à différents points dont : les contours du programme, sa mise en œuvre, les interfaces avec les structures existantes et les actions prioritaires, et les projets interdisciplinaires structurants.

La mise en place par la direction du CNRS du comité scientifique assurant le pilotage du programme est en cours. Un appel d'offres, destiné à impulser de nouvelles recherches dans ce domaine en privilégiant les actions interdisciplinaires, sera lancé prochainement. Des ateliers, colloques et écoles devraient également voir le jour très vite pour servir d'incubateurs afin d'amplifier les recherches interdisciplinaires qui ont déjà vu le jour au travers des programmes nationaux comme le Programme national de planétologie et le Programme physique et chimie du milieu interstellaire, ou du Groupement de recherche "Exobiologie", en élargissant cette interdisciplinarité aux domaines, notamment, des Sciences humaines et sociales.



Fumeur noir. © J.L. Cheminée. IPGP.

## Interventions des différents orateurs lors du colloque

- [Cadrage de l'exercice, Jean-Marie Hameury](#)
- [L'astronomie hors système solaire, Anne-Marie Lagrange](#)
- [Le système solaire, Bruno Bézard](#)
- [Exoplanètes : détection et caractérisation, Tristan Guillot](#)
- [Formation des systèmes planétaires, Alessandro Morbidelli](#)
- [Origines des planètes et de la vie : sciences de la Terre, Bernard Marty](#)
- [La température des océans archéens, Marc Chaussidon](#)
- [Le programme "Archean environment" de l'ESF, Nicolas Arndt](#)
- [Objets les plus anciens sur Terre et traces de vie les plus anciennes, Pascal Philippot et Mark van Zuilen](#)
- [Définition de la vie : le point de vue du physico-chimiste, André Brack](#)
- [Définition de la vie : le point de vue du biologiste, Marie-Christine Maurel](#)
- [Des premières biomolécules vers l'émergence de la vie : quand la chimie devient histoire naturelle, Robert Pascal](#)
- [Modélisation de systèmes à fonctionnalité émergente, Pierre Glize](#)
- [La thématique des Origines vue par le CNES, Richard Bonneville](#)
- [La thématique des Origines vue par le l'ESA, Malcom Fridlund](#)
- [La thématique des Origines vue par la NASA, Charles Beichman](#)
- [La thématique des Origines vue par le CEA, Philippe Lavocat](#)
- [L'exobiologie, François Raulin](#)
- [L'apport des sciences humaines à la question des origines, Stéphane Schmitt](#)
- [Origines : construction ou essence ? Jean Schneider](#)
- [Les origines de la vie : de la science à l'histoire, Stéphane Tirard](#)
- [Schèmes explicatifs à l'œuvre dans les théories sur les origines de la vie, Christophe Malaterre](#)

A voir:

[Origines de la Vie : auto-organisation et/ou évolution biologique ?](#)

[Origines des Planètes et de la Vie](#)

[Origine des Planètes et de la Vie \(OPV\) : appel d'offres 2008](#)

- [Présentation de l'institut](#)
- [Structures et moyens](#)
- [Espace recherche](#)
- [Carrières et emplois](#)
- [Espace pour tous](#)

# ACTIVITES DE RECHERCHE

## *PHYSICO-CHIMIE ORGANIQUE DANS DES ENVIRONNEMENTS PLANETAIRES*

Pr François RAULIN  
Professeur à l'Université Paris Est - Créteil

### .1 : INTRODUCTION

Bien que centrée sur la chimie, mais avec une bonne dose de physique la formation que j'ai reçue à l'ESPCI m'a conduit à m'intéresser à des domaines multidisciplinaires, mais dans lesquels la chimie peut jouer un rôle essentiel. Mes recherches ont d'abord porté sur l'évolution chimique de l'environnement primitif terrestre qui a permis l'apparition de la vie sur notre planète, et plus précisément sur ce qui est à présent appelé la "chimie prébiotique". Au sein du laboratoire de René BUVET puis de celui de Gérard TOUPANCE, j'ai développé des études sur la formation de composés organiques par dépôt d'énergie dans des modèles de l'atmosphère primitive et sur leur évolution en solution aqueuse. Il s'agit d'études expérimentales s'appuyant largement sur l'interprétation par modélisation cinétique.

Ce domaine, alors en émergence dans la communauté scientifique internationale, s'est, depuis, développé en relation avec la planétologie. Il est en effet apparu indispensable pour mieux comprendre les conditions de l'environnement primitif terrestre et son évolution, d'aller étudier les autres planètes du système solaire. Il est clair aujourd'hui que la planétologie comparée est une approche essentielle pour étudier la Terre passée, présente ou future, et l'origine de la vie.

Aussi, mes activités de recherche se sont orientées progressivement vers l'étude de la chimie et de la physico-chimie planétaire extraterrestre. J'avais eu l'occasion d'aborder cette thématique en 1971, lors d'un séjour de un an au Laboratory for Planetary Studies de Carl SAGAN à l'Université Cornell. Mais c'est en 1979, lors d'un séjour (de un an à nouveau) au Laboratory of Chemical Evolution (LCE) de Cyril PONNAMPERUMA à l'Université du Maryland que j'ai décidé d'orienter systématiquement mes recherches vers la planétologie. Responsable au LCE du groupe "Planetary Studies", j'ai pu assister au printemps 1979 à l'arrivée du vaisseau Voyager 1 dans le système de Jupiter et participer au dépouillement des données de spectroscopie IR de la mission. C'est alors que j'ai pris pleinement conscience du rôle crucial que peut et doit **jouer la chimie dans l'étude des planètes et dans l'exploration spatiale**.

Après mon retour en France, tout en continuant des recherches dans le domaine de la chimie prébiotique, j'ai orienté la majeure partie de mes travaux vers l'étude de la chimie dans les atmosphères planétaires, principalement celles de Jupiter, Saturne et Titan.

En 1985-86, j'ai créé l'Equipe Physico-Chimie Organique Spatiale (EPCOS). J'ai assuré la direction de cette équipe de recherche spécialisée dans le domaine de la chimie et de la physico-chimie, principalement organiques, appliquées aux environnements planétaires. L'EPCOS a constitué, jusqu'à l'automne 1993, l'une des deux équipes du Laboratoire de Physico-Chimie de l'Environnement de Créteil, et, simultanément, l'un des trois axes de recherche de l'URA 1404 du CNRS.

En 1992-93, les laboratoires et équipes de cette URA se sont regroupés sur un seul site principal, dans les bâtiments scientifiques du Centre Multidisciplinaire de Créteil. Cette vaste opération a permis la création d'une véritable unité de recherche commune aux Universités Paris 7 et Paris 12, bénéficiant d'importants moyens, tant humains que matériels, avec un potentiel de créativité scientifique largement accru par ce regroupement géographique. Cette unité est alors devenue le LISA – laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques - tout en restant l'URA 1404 du CNRS. Avec la création du LISA, L'EPCOS est devenu le Groupe Physico-Chimie Organique Spatiale (GPCOS). J'en ai assuré la responsabilité jusqu'à mi-1995. Devenu **Directeur du LISA** en juillet 1995, j'ai confié la co-responsabilité du GPCOS à P. BRUSTON. Alors, tout en assurant la direction du LISA (unité de 80 personnes), j'ai continué à participer directement aux activités de ce groupe. La disparition brutale de Paul Bruston, le 3 octobre 1998, m'a forcé à reprendre en charge la direction du GPCOS, tout en continuant d'assurer la direction du LISA.

Après 10 années de direction de l'UMR, j'ai considéré qu'il était temps de laisser la place à du sang plus jeune... Jean-Marie Flaud a pris ma relève en janvier 2005. J'ai pu alors me consacrer de façon plus satisfaisante à l'animation du GPCOS et à mes activités de recherche, et en particulier aux données de la mission Cassini-Huygens, dont la sonde arrivait ce même mois à la surface de Titan !!

J'ai continué d'assurer la direction du GPCOS jusqu'à fin 2009, avant d'en passer le relais à Yves BENILAN. Depuis, je continue de participer très étroitement au développement de la mission Cassini-Huygens, au dépouillement des données concernant Titan, à leur diffusion, et au développement des expériences au sol et à la modélisation liées à l'interprétation de ces données. En parallèle, je participe au développement des futures missions, à court ou moyen terme, vers Mars et Phobos (MSL'09, Phobos Grunt, ExoMars), ou même à long terme (Tandem, vers Titan et Enceladus).

Je continue aussi de participer activement au développement de l'Exo/astrobiologie en France via le GDR CNRS Exobio, que j'ai dirigé jusqu'en fin 2006, puis le Programme InterDisciplinaire « Origines des Planètes et de la Vie » dont je fus le secrétaire scientifique de 2006 à 2009 et le Groupe thématique « Exo/astrobiologie » du CNES, que j'ai présidé de sa création en 2004 jusqu'en 2008. Je mène cette activité à présent via la Société Française d'Exobiologie dont je suis le Président. De même au niveau international, via l'EANA (European Astrobiology Network Association), le COSPAR (Committee on Space Research) dont j'ai présidé la commission F, et l'ISSOL (International Society for the Study of the Origin of Life) dont je fus le 1er Vice-Président.

## **.2 : OBJECTIFS GENERAUX DES RECHERCHES**

Mes activités de recherches sont résolument tournées vers la planétologie et l'exobiologie (ou astrobiologie). L'objectif ultime des programmes que je développe, avec l'ensemble des membres du groupe PCOS du LISA, est l'étude des processus physiques et chimiques dans des environnements extraterrestres susceptibles de conduire à des structures organiques complexes, éventuellement d'intérêt biochimique, en relation avec le domaine de l'exo/astrobiologie (étude de la vie dans l'univers et des structures et processus liés à la vie).

Ces programmes sont tout à fait complémentaires de ceux des autres groupes du LISA qui eux concernent l'atmosphère terrestre actuelle. L'appréhension de la physico-chimie d'autres atmosphères planétaires est une démarche à présent classiquement suivie pour mieux comprendre notre propre atmosphère. Le développement de la planétologie, lié d'ailleurs à celui de l'exploration spatiale, en dévoilant l'existence d'une très grande diversité d'environnements planétaires, a offert des possibilités de comparaison, souvent très fructueuses, entre ces environnements, faisant ainsi ressortir les paramètres-clés qui gouvernent leur physico-chimie et les outils - théoriques et expérimentaux - nécessaires pour les étudier.

Plus précisément, les programmes que nous développons se situent à l'interface de la chimie, de la planétologie et des sciences de la vie. Il s'agit d'appliquer les outils du physico-chimiste et du chimiste organicien aux environnements extraterrestres, afin de :

- déterminer la nature et estimer les abondances relatives des espèces mineures, principalement organiques, susceptibles d'être présentes dans ces milieux ;
- préciser leurs mécanismes de formation et d'évolution, dans ces conditions d'environnement ;
- participer à la recherche de ces composés organiques, dans les milieux planétaires, sur la base des résultats obtenus, et en collaboration avec les planétologues : par télédétection, ou par mesure *in situ*.

Ces études reposent sur de très nombreuses coopérations nationales et internationales. Au niveau national, nous collaborons non seulement avec nos partenaires planétologues, mais aussi avec de nombreuses équipes travaillant dans le domaine de l'Exobiologie au sens large. C'est ainsi que j'ai été amené à coordonner une demande de création d'un programme national d'Exobiologie, qui, dès 1999, s'est concrétisée par la création d'un **GDR Exobiologie du CNRS**, impliquant une centaine de chercheurs. J'ai assuré la direction de ce GDR depuis sa création jusqu'en décembre 2006, avant d'en passer le relais à Frances WESTALL. J'ai aussi largement œuvré pour la reconnaissance de l'Exo/astrobiologie au CNES. Cette action de longue durée s'est concrétisée en 2004 par la création au CNES d'un groupe thématique d'Exo/astrobiologie, dont la présidence m'a été confiée. Enfin j'ai aussi étroitement participé à l'émergence du Programme InterDisciplinaire du CNRS « Origines des Planètes et de la Vie » (PID-OPV), créé le 1<sup>er</sup> janvier 2007, et pour lequel le CNRS m'a demandé de jouer le rôle de secrétaire scientifique. Ce PID a été prolongé par le PIR (Programme Interdisciplinaire de Recherche) « Evolution des planètes et de la vie » (EPOV) en 2010. En parallèle à ces programmes du CNRS, la nécessité de disposer d'une structure pérenne, capable de jouer le rôle de fédération et de vitrine des activités scientifiques exobiologiques en France, m'a conduit à coordonner un projet de création d'une société savante dans ce domaine. La SFE (Société Française d'Exobiologie) est née en mai 2009. Cette société savante, dont j'ai été élu président, regroupe actuellement près de 150 membres.

Au niveau international, tous les programmes auxquels nous participons font appel à de très larges coopérations, principalement avec des équipes européennes, américaines, mexicaines et japonaises. En particulier, dans le cas du Mexique, le groupe GPCOS travaille en étroite relation avec des équipes de l'Université Autonome de Mexico. Cette coopération a donné lieu à un programme de recherche soutenu par les organismes gouvernementaux

franco-mexicains, ECOS et ANUIES, (programme « Recherches astronomiques », 1997-2002, dont j'ai été co-responsable pour la partie française).

### **.3 : PROGRAMMES RELATIFS A TITAN**

Au cours des vingt-cinq dernières années, mes activités ont principalement concerné Titan, le plus grand satellite de Saturne. Deuxième satellite du système solaire par la taille, Titan est le seul à posséder une atmosphère dense. Constituée majoritairement d'azote et de méthane, cette atmosphère est près de cinq fois plus dense que l'atmosphère terrestre, avec une pression de surface de 1,5 bar et une température de surface de 94K. En accord avec les prédictions déduites d'expériences de simulation en laboratoire, l'atmosphère de Titan est très riche en composés organiques. Ceux-ci doivent être présents non seulement en phase gazeuse, mais aussi dans les aérosols dont les couches épaisses, observées en particulier par les sondes Voyager, masquent la surface. La chimie organique est donc impliquée dans les trois composantes de ce que l'on peut appeler, par analogie avec la Terre, le "géofluide" de Titan : air (atmosphère gazeuse), aérosols (atmosphère solide) et surface (des mers ou lacs de méthane et éthane liquides prédits par les modèles et récemment observés par les instruments de l'orbiter Cassini).

Les couplages chimiques et physiques sont nombreux dans ces trois composantes et y gouvernent la formation et l'évolution de la matière organique. Les programmes que nous avons développés et développons actuellement s'intéressent à la chimie organique dans ces trois composantes, en essayant d'y préciser l'importance de ces couplages. Pour cela, comme dans les autres axes du LISA nous faisons appel:

**- aux expériences de "terrain":**

missions d'observation à partir d'observatoires terrestres ou placés à bord de satellites artificiels en orbite terrestre, tels HST (Hubble Space Telescope) ou ISO (Infrared Space Observatory);

missions spatiales vers Titan, comme la mission Voyager ou la mission Cassini-Huygens incluant mesures à distance (IR, UV) et *in situ* (analyse par CPG-SM et Pyr-CPG-SM).

**- aux études en laboratoire :** Ces études comprennent :

expériences simulant les synthèses chimiques dans l'atmosphère de Titan;

établissement de banques de données spectrales (IR, UV), afin de disposer de spectres calibrés en fréquence et en intensité des composés identifiés dans les expériences de simulation, candidats privilégiés pour la recherche de nouvelles signatures sur les spectres de Titan;

études de CPG, CPG-SM et Pyr-CPG-SM, afin de mettre au point les meilleures techniques d'analyse *in situ* des composés organiques présents en phase gazeuse et dans les aérosols de l'atmosphère de Titan, dans le cadre de la préparation, puis du développement, de la mission Cassini-Huygens.

**- à la modélisation théorique :**

modélisation microphysique des aérosols, afin de prévoir l'évolution et la composition chimique de ces particules en fonction de l'altitude;

modélisation thermodynamique de l'interface atmosphère-surface, afin de prévoir la composition chimique des lacs (quasi mers) de Titan;

modélisation photochimique de l'atmosphère afin d'appréhender les processus chimiques prépondérants de ce milieu, et prévoir les profils de concentration des composés trace, déjà détectés ou supposés présents.

Les recherches poursuivies sont aussi directement liées à la mission Cassini-Huygens, mission dans laquelle je suis très fortement impliqué. Cette mission, développée conjointement par les agences spatiales américaine (NASA) et européenne (ESA), comprend la mise en orbite autour de Saturne et Titan d'un satellite artificiel (Cassini) et le largage d'une sonde (Huygens) dans l'atmosphère de Titan. Le vaisseau Cassini, portant la sonde Huygens, a été lancé le 15 octobre 1997. L'arrivée dans le système de Saturne a eu lieu en juillet 2004 et l'entrée de la sonde Huygens dans l'atmosphère de Titan le 14 janvier 2005. L'ESA et la NASA ont sélectionné fin 1990 les propositions d'expériences de la sonde et de l'orbiteur, ainsi que celles d'"InterDisciplinary Scientist" (IDS), dont le rôle est d'utiliser de façon complémentaire des données de plusieurs des expériences de la mission pour traiter un problème scientifique déterminé.

Je suis associé en tant que "Co-Investigateur" (Co.I) à trois expériences :

- GC-MS : chromatographe en phase gazeuse (GC) couplé à un spectromètre de masse (MS), cette expérience avait pour but de séparer, analyser et identifier les constituants de l'atmosphère, de la surface et (via le collecteur pyrolyseur "ACP") des aérosols de Titan.
- ACP : constituée d'un collecteur et pyrolyseur d'aérosol, l'expérience ACP a permis l'étude des aérosols organiques de Titan, en utilisant le GC-MS comme système d'analyse chimique.

- CIRS : spectromètre infrarouge à transformée de Fourier, cet instrument permet d'étudier Saturne et Titan par télédétection dans l'IR, à partir de l'orbiteur Cassini. Notre équipe est chargée d'études en laboratoire des spectres IR de composés organiques intéressant Titan.

De plus, ma proposition « Interdisciplinary Scientist » (IDS), sur le thème "Titan Chemistry and Exobiology", fait partie des trois propositions « IDS » sélectionnées par l'ESA pour la sonde Huygens. Les objectifs scientifiques de ma proposition sont d'étudier la chimie organique dans les trois composantes du "géofluide" de Titan, sur la base d'une large coopération Nationale et Internationale. Pour cela, nous utilisons de façon complémentaire les données de la plupart des instruments de la sonde Huygens, et de certains des instruments de l'orbiteur, ainsi que les données d'expériences en laboratoire et de modélisations théoriques. Ces travaux mettent d'ores et déjà en évidence trois aspects principaux de Titan intéressant l'exo/astrobiologie :

- **Ses analogies avec la planète Terre, malgré de beaucoup plus basses températures. Titan est un corps planétaire géologiquement très actif, comme la Terre, avec un cryovolcanisme jouant le rôle du volcanisme terrestre, des processus d'érosion éolienne et fluviale, où le méthane semble jouer le rôle de l'eau sur Terre, avec un cycle de condensation, précipitation, et évaporation.**
- **La présence d'une chimie organique active impliquant plusieurs des composés clés de la chimie prébiotique terrestre, et des matériaux organiques complexes présents dans les aérosols atmosphériques, de composition proche des analogues obtenus en laboratoire (appelés « tholins ») lors d'expériences simulant la chimie de l'atmosphère de Titan. Or les tholins peuvent produire de nombreux composés d'intérêt biologique lorsqu'ils sont soumis à une hydrolyse, tels que des acides aminés et des bases puriques. De tels processus ont pu avoir lieu sur Titan, avec la présence épisodique de masses d'eau liquide produite par la fusion de la glace d'eau lors d'impacts à la surface de Titan.**
- **L'émergence possible de la vie et son maintien sur Titan. Les ingrédients de base qui semblent nécessaires à la vie sont présents sur Titan. Aussi on ne peut exclure la possibilité que la vie soit apparue sur Titan, et ait pu persister dans son océan interne.**

La mission Cassini-Huygens, qui a été prolongée par la NASA jusqu'en 2017, fournit une foison de données nouvelles qui vont nécessiter des décennies pour être exploitées en détail. Toutefois, des projets de retour à Titan (et Encelade) sont dès maintenant à l'étude. C'est le cas de la mission « TSSM » (Titan System Mission) a fait l'objet d'une étude de faisabilité. Par la NASA et l'ESA et pour laquelle j'ai coordonné les aspects astrobiologiques.

#### **.4 : AUTRES PROGRAMMES EN COURS OU EN PREPARATION**

##### ***.4.1 : COMETES***

Les comètes sont considérées comme faisant partie des objets les plus riches en matière organique du système solaire. Compte tenu de la fréquence des impacts cométaires sur la Terre primitive, il est probable que les comètes aient pu importer sur Terre une fraction importante de matériaux organiques et participer ainsi à la chimie prébiotique terrestre. Toutefois, nous n'avons encore que très peu d'information directe sur la nature des matériaux organiques constituant le noyau cométaire. Ces informations cruciales pour l'étude de la physico-chimie organique extraterrestre devraient nous être fournies par la mission spatiale "Rosetta", qui constitue l'une des pierres angulaires du programme de l'ESA. Cette mission comprend l'envoi d'un vaisseau vers une comète, et la pose d'une sonde (« Philae ») à la surface de celle-ci. Le vaisseau a été lancé en 2004 pour un rendez-vous avec la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko en 2014. Il la suivra pendant plusieurs mois, en effectuant des mesures physiques et chimiques de son environnement à l'aide des nombreux instruments qu'il transportera, et à partir du module qui se posera à la surface du noyau cométaire, en 2015.

Le LISA est associé à l'expérience d'analyse moléculaire « COSAC » (COmetary Sampling And Composition) de ce module (deux de ses membres, dont moi-même, étant Co-I de cette proposition). Il s'agit d'un instrument de type pyrolyse/dérivatisation chimique/ GC (multi-colonnes) / MS (TOF) spatialisé. Nous avons eu en charge la majeure partie du sous-système chromatographique. Nous avons effectué la sélection, puis la calibration des colonnes chromatographiques nécessaires pour l'analyse moléculaire détaillée du noyau cométaire par CPG et CPG couplée à la spectrométrie de masse (8 colonnes en parallèle). Ces colonnes ont été d'intégrées dans l'instrument de

vol, qui a été livré début 2002. Ces développements technologiques nous ont aussi conduits à mettre au point un système de détermination systématique des paramètres chromatographiques nécessaires à une analyse déterminée.

De plus, je suis Co-Investigator de l'expérience de spectrométrie de masse à temps de vol ("Cosima") sélectionnée par l'ESA pour l'orbiteur Rosetta.

Enfin le groupe PCOS développe des programmes d'études expérimentales et théoriques de la chimie organique cométaire: en particulier, le programme « S.E.M.A.Ph.Or.E. COMETAIRE » (Simulation Expérimentale et Modélisation Appliquées aux Phénomènes Organiques dans l'Environnement cométaire). Ce programme, coordonné par Hervé COTTIN, a pour but de mieux comprendre les mécanismes qui régissent la dégradation de la matière organique présente dans les glaces et les poussières cométaires lorsque celles-ci sont soumises au bombardement de photons. L'objectif ultime de ces études est de connaître les corrélations entre la composition de la phase solide (noyau cométaire) et celle de la phase gazeuse (coma). Nous nous intéressons plus particulièrement au phénomène de dégradation photochimique et thermique de molécules solides constitutives des grains issus du noyau. Ce programme a déjà permis d'obtenir de nombreux résultats originaux concernant les rendements quantiques de photolyse et de thermo-dégradation du PolyOxyMéthylène (P.O.M.), et la possibilité que ce composé participe effectivement à la chimie du noyau cométaire. Des études analogues sont en cours concernant l'HéxaméthylèneTétramine (HMT) et les polymères de HCN.

#### **.4.2 : MARS**

Les données disponibles sur la planète Mars indiquent que l'eau devait couler en abondance à sa surface il y a environ 3 à 3,5 milliards d'années, époque où la vie était déjà présente sur Terre, et que Mars et la Terre devaient être alors très semblables. Il est donc logique de supposer que la vie soit aussi apparue sur Mars. L'étude des rares météorites d'origine martienne n'a pas réussi à démontrer la justesse de cette hypothèse. Toutefois, malgré les conditions hostiles qui y règnent aujourd'hui, la planète rouge apparaît comme un objet privilégié dans le système solaire pour la recherche d'une vie extraterrestre, du moins d'une vie passée.

De nombreuses missions spatiales, principalement américaines, sont en préparation pour aller explorer systématiquement Mars et, en particulier, y rechercher des traces d'activité biologique passée ou même présente. De son côté, l'ESA, l'Agence Européenne, dans le prolongement de la mission Mars Express, et dans le cadre de son programme Aurora envisage d'explorer en détail la surface de la planète rouge avec un module robotisé et mobile et, à terme un retour d'échantillon. La France est impliquée dans plusieurs de ces missions.

Dans ces perspectives, l'ESA avait déjà constitué un groupe de réflexion international (ESA Exobiology Study Team) qui a travaillé de 1997 à 1999. Son principal objectif était de concevoir un ensemble instrumental d'analyses exobiologiques *in situ* réutilisable, en vue de la préparation de la charge utile de futures missions martiennes. Au sein de ce groupe, j'animais le sous-groupe « analyse organique et minérale ». L'une des techniques de cet ensemble instrumental fait appel à la dérivation chimique qui permet de transformer un composé réfractaire en produit suffisamment volatil pour être analysé par CPG, SM ou CPG-SM. Ce type d'instrumentation n'avait encore jamais été utilisé lors de missions d'exploration spatiale. Aussi, en parallèle avec les travaux du groupe de l'ESA, j'ai proposé au CNES d'étudier la faisabilité d'une instrumentation spatialisée de CPG incluant la dérivation chimique pour analyse *in situ*. Cette étude de R & T a été développée dans le groupe PCOS sous la coordination de Robert STERNBERG, en collaboration avec plusieurs équipes, en particulier avec le LATMOS ((Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales) et le laboratoire de Recherche sur les Polymères (UMR 7581). Ce dispositif fait à présent partie d'une expérience spatiale (SAM = Sample Analysis at Mars) que le LISA prépare en coopération avec le LATMOS et une équipe du Centre Goddard de la NASA pour la mission Mars Science Laboratory (MSL11) dont le lancement est programmé en 2011.

Nous proposons de participer à cet effort de recherche, avec le LATMOS, en mettant à profit l'expérience acquise par nos laboratoires pour des missions précédentes (ACP sur HUYGENS), en cours (COSAC sur Philae/Rosetta) ou en réalisation (GC sur SAM/MSL11). Dans ce cadre, nous proposons de prendre en charge la fourniture de sous ensembles du chromatographe en phase gazeuse pour la séparation et l'identification des espèces analysées.

L'ESA prépare actuellement, en collaboration avec la NASA, un programme ambitieux d'exploration de Mars, avec la mission ExoMars, incluant un module de surface, Pasteur, capable de forer : ce qui permettrait, pour la première fois d'analyser des échantillons provenant de la sous-surface, jusqu'à une profondeur d'environ 2 mètres. Cette capacité de forage est un atout extrêmement important pour une mission d'exploration exobiologique de Mars, car elle augmente drastiquement les chances de trouver de la matière organique d'éventuelles biosignatures présentes ou passées. La mission ExoMars est programmée pour un lancement en 2018. Nous sommes responsables pour la

partie française de l'expérience « MOMA » (Mars Organic Molecules Analysis). L'expérience MOMA est un ensemble d'instruments à bord de Pasteur, permettant l'analyse chimique (moléculaire, isotopique et chirale) in situ d'échantillons du sol martien : analyse de composés organiques et inorganiques, volatils et réfractaires, par l'utilisation combinée de techniques de chromatographie en phase gazeuse (GC), spectrométrie de masse (MS), pyrolyse (Pyr), dérivatisation chimique (Der) et désorption/ionisation à partir d'une matrice par Laser (AP-MALDI). Le PI est Fred Goesman (Max Planck, Lindau), je suis Deputy PI de l'expérience. Nous développons avec le LATMOS le système GC, qui pourra fonctionner en mode couplé (GC-MS) ou comme un instrument indépendant, ayant ses propres détecteurs. Le retour scientifique de cette expérience est tout à fait similaire à celui de l'expérience SAM. Les résultats attendus devraient conduire, en particulier, à une meilleure compréhension des processus d'évolution de la matière organique dans le sol martien. Ils devraient aussi permettre de déterminer l'origine de ces matériaux, y compris si celle-ci est biologique.

Dans le cadre de la préparation du programme Aurora, l'ESA m'a demandé de faire partie du groupe de travail « Planetary Protection Working Group ». Je participe aux activités de ce groupe depuis fin 2003 et le préside depuis 2010.

## **.5 : CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

### **Les résultats récents**

L'ensemble de mes activités est donc à présent axé sur la physico-chimie organique d'environnements planétaires, activité menée au sein du GPCOS. Ce groupe, depuis la création du LISA, s'est d'ailleurs considérablement étoffé puisqu'il comprend aujourd'hui 22 personnes dont 13 permanents incluant 5 HDR.

Les programmes développés par le GPCOS ont récemment mis en évidence la présence très probable de nombreux composés organiques non encore détectés dans l'atmosphère de Titan; il s'agit principalement de composés organiques instables à la température du laboratoire mais stables aux basses températures de Titan, tels que polyynes et cyanopolyynes. Ces études sont aussi **importantes pour le domaine de la chimie** : elles fournissent en particulier des données nouvelles précieuses sur des composés qui n'ont été que peu étudiés, du fait de leur instabilité.

Nous poursuivons actuellement l'étude de la chimie en phase gazeuse de Titan, en nous intéressant plus particulièrement à deux aspects. D'une part, nous continuons d'étudier – par approche expérimentale et modélisation théorique – les processus photochimiques de la stratosphère de Titan et plus particulièrement ceux impliquant les espèces **polyynes et cyanopolyynes**. D'autre part, les programmes concernant la chimie de Titan ont aussi permis d'obtenir des **analogues de laboratoire enfin représentatifs des aérosols** atmosphériques de Titan. Les études développées actuellement par le Groupe PCOS visent à préciser les propriétés physico-chimiques de ces produits. En particulier nous avons déterminé leurs **caractéristiques optiques** dont la connaissance est indispensable au traitement des données de l'observation. Nous étudions actuellement leur comportement lorsqu'ils sont en contact avec de l'eau afin de connaître les possibilités d'évolution des aérosols de Titan – en particulier vers des composés d'intérêt biologique, une fois déposés à la surface du satellite.

Les développements de spectroscopie (UV et IR) nous ont permis d'obtenir des **données spectrales originales sur de nombreux composés organiques en phase gazeuse intéressant l'atmosphère de Titan**. Ces données, indispensables pour traiter les données de l'observation, constituent une base de données spectroscopiques disponible sur le site web du LISA (<http://www.lisa.univ-paris12.fr/GPCOS/SCOOPweb/index.html>). En particulier, les études faites sur C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>2</sub>, et HC<sub>5</sub>N, dont l'instabilité thermique avait jusqu'à présent limité leurs études spectrales, nous ont conduit aux premières déterminations des intensités absolues de leurs bandes IR et UV. Un travail, expérimental et théorique est en cours pour déterminer l'influence de la température sur ces valeurs. Ce programme permettra d'extrapoler les valeurs d'intensité aux basses températures d'atmosphères froides, comme celle de Titan ou de Jupiter. Les développements dans le domaine de la CPG et de l'analyse par Pyr-GC-MS, nous ont permis de mettre au point des **colonnes chromatographiques** qui sont utilisées dans le cadre des missions Cassini-Huygens et Rosetta et devraient l'être dans celui des futures missions vers la planète Mars incluant des modules de surface.

Par l'ensemble des résultats déjà obtenus, les compétences du LISA dans le domaine à l'interface entre la planétologie et la physico-chimie organique sont largement reconnues au plus haut niveau tant national (cf le GDR Exobiologie du CNRS, le PID OPV / PIR EPOV, et le nouveau groupe de travail « Exo/astrobiologie » du CNES), qu'international (participation aux groupes de travail de l'ESA, de la NASA, implications dans le COSPAR, etc). L'expertise du LISA dans ce domaine est souvent sollicitée. L'implication du LISA dans les missions Cassini-



Huygens, et Rosetta ainsi que la préparation des futures missions martiennes, est un signe clair de cette reconnaissance internationale.

### Direction du LISA

**J'ai assuré la direction du LISA de mi-1995 à fin 2004.** J'ai pu, avec l'aide de mes collègues transformer progressivement la petite l'URA en grande UMR, aux activités multiples mais complémentaires, s'appuyant sur deux universités – Paris 7 et Paris 12 – et sur le CNRS. Le LISA est aujourd'hui un laboratoire de plus de 110 personnes, incluant près de 70 permanents.

L'ensemble des activités du LISA porte sur un large domaine : **la physico-chimie de l'atmosphère**. Les thématiques du LISA, outre les aspects planétologie/exobiologie, sont liées à l'étude de la troposphère terrestre actuelle et aux problèmes environnementaux de grande importance que sont la pollution atmosphérique et l'évolution du climat. Ces thématiques sont développées de façon coordonnée au sein des autres groupes opérationnels du LISA, sous la responsabilité de spécialistes de ces domaines. Mon projet, en prenant la direction de ce laboratoire était d'en faire une UMR de statut original (mixte Universités Paris 7 et 12), dans la continuité de la politique scientifique du LISA développée par mon prédécesseur, Gérard TOUPANCE. Cet objectif fut atteint : **le LISA est depuis le 1/1/97 l'UMR 7583.**

**Je n'ai pas souhaité renouveler ma candidature à la direction du LISA**, dont le mandat arrivait à échéance fin 2004. Toutefois j'ai tenu à **prendre totalement en charge l'élaboration de la demande de renouvellement de statut d'UMR** du LISA (période 2005-2008). Le volumineux dossier de demande de renouvellement (rapport d'activité, rapport de prospective et demande au Ministère) a été déposé fin octobre 2003. **En parallèle, dès la fin 2002, j'ai mis en place les opérations nécessaires à mon remplacement**, afin que le futur directeur du LISA (qui a pris ses fonctions au 1<sup>er</sup> janvier 2005) soit associé à la préparation du document de prospective de notre unité. Ces opérations ont conduit à la candidature de Jean-Marie FLAUD, acceptée à l'unanimité par le Conseil de laboratoire du LISA. Jean-Marie FLAUD a rejoint le LISA avec son équipe de spectroscopie, qui comprend une dizaine de permanents. Un tel projet nécessitait de disposer d'une superficie importante de nouveaux locaux pour le LISA, ce que j'ai pu obtenir, avec le soutien de la direction de l'Université Paris 12.

### Direction du GDR Exobio

Au début des années 1990, le besoin d'une structure nationale permettant de fédérer une partie des activités de la communauté exobiologique française s'est fait sentir de plus en plus fortement. J'ai alors pris l'initiative de d'organiser ou coordonner réunions et colloques de réflexion et prospective à la fin des années 1990, et en particulier le colloque d'exobiologie de Roscoff, en juillet 1997. Ce colloque m'a permis de préparer, avec l'aide de nombreux collègues de la communauté exobiologique française, incluant astrophysiciens, planétologues, chimistes et physico-chimistes, paléontologues, biologistes et microbiologistes, un dossier de demande de création d'un GDR. Cette demande a été acceptée par le département SDU et le GDR a vu le jour officiellement le 1<sup>er</sup> janvier 1999. Il a constamment bénéficié d'un soutien financier de l'INSU et du CNES.

Depuis sa création, le GDR a lancé tous les ans un appel à proposition de projet de recherche et organisé tous les 2 ans une école thématique du CNRS. La dernière a eu lieu en 2007 à Propriano. J'ai obtenu, en 2001, l'affiliation du GDR à la structure américaine « NASA Astrobiology Institute » (NAI). Nous avons organisé en mai 2002, puis en mai 2006, un colloque national d'exobiologie qui a permis de faire le bilan de 4 années de fonctionnement du GDR et de dresser la prospective au niveau national dans le large domaine qu'est l'exobiologie. Cet exercice nous a aussi permis de préparer une demande de renouvellement du GDR, qui a été acceptée après examen par les différents départements du CNRS concernés (SDU – puis MPPU -MPPU, SDV et SC).

Après deux mandats, il m'a semblé préférable, là aussi, de passer le relais de la direction du GDR à l'un des membres actifs et reconnus au niveau international par la communauté exobiologique : c'est Frances WESTALL, du CBM-CNRS à Orléans qui a assuré cette noble tâche.

En parallèle, j'ai accepté de participer à la préparation du nouveau programme interdisciplinaire « Origine des Planètes et de la Vie » du CNRS. Il a été officiellement créé le 1<sup>er</sup> janvier 2007. J'ai fait partie du bureau de ce PID, en étant le secrétaire scientifique, la présidence étant assurée par Marie-Christine Maurel, membre aussi très actif du GDR Exobio. Ce programme a été prolongé en 2010 par un Programme Interdisciplinaire de Recherche « EPOV » (Environnement Planétaires et Origine de la Vie). Je suis membre de son CS.

Dans le cadre de ces activités d'animation scientifique et de structuration de la communauté exobiologique française, j'ai participé à de nombreuses reprises aux réunions de prospective du CNES, et apporté ma contribution en ce qui concerne l'exobiologie. J'ai aussi contribué à la création en 2004 du groupe thématique « Exo/Astrobiologie » du CNES, que j'ai présidé jusqu'en 2009.

Enfin, avec l'aide du noyau dur du GDR Exobio, nous avons créé en mai 2009 la Société Française d'Exobiologie. La SFE, dont j'ai été élu président, a été reconnue Société Savante par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche dès son année de création. Elle regroupe aujourd'hui près de 150 membres. Elle a organisé son premier colloque scientifique national en septembre 2010 à Biarritz avec près de 100 participants, et le soutien du CNES et du CNRS. La SFE possède un site web très actif, avec mise à jour régulière des informations concernant les exobiologistes : <http://www.exobiologie.fr/>

Pour terminer, il me semble important de souligner que ces activités ont aussi permis de créer, dans ce domaine pluridisciplinaire, un vivier de jeunes chercheurs ou jeunes seniors qui ont commencé à prendre ou devraient prendre la relève : tels que Marie-Claire Gazeau, Patrice Coll, Hervé Cottin, Nicolas Fray (LISA), Cyril Szopa (SA-LATMOS), Claire Romanzin (LCP-Orsay), Véronique Vuitton (LPG, Grenoble).

# De l'exobiologie à l'astrobiologie

## Émergence et développement d'une nouvelle science interdisciplinaire

**François Raulin**, « De l'exobiologie à l'astrobiologie », *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 23 | 2008, mis en ligne le 03 janvier 2011, consulté le 20 décembre 2011. URL : <http://histoire-cnrs.revues.org/8883>

### François Raulin

Ancien directeur du Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques du CNRS, François Raulin y est responsable du groupe de physico-chimie organique spatiale. Il est aussi le fondateur du GDR Exobio, une fédération de laboratoires du CNRS travaillant dans le domaine de l'exobiologie. Par ailleurs, il participe aux missions en cours ou en préparation d'exploration de la planète Mars, des comètes et du système solaire externe (Europe, Titan et Encelade)

### Résumés

Dès qu'il a commencé à regarder et à observer le ciel, l'Homme a imaginé qu'il y avait dans ces lointains ailleurs d'autres mondes habités par d'autres vies, bien que souvent à l'image de la vie terrestre. François Raulin revient sur cette quête des mondes extraterrestres.

The Exobiology branch conducts research in Exobiology seeking to increase our knowledge of the origin, evolution, and distribution of life in the universe. To what extent did chemical evolution occur in the primitive bodies of the solar system? How did life originate on the Earth, and what role did minerals play? What evidence exists between biological and environmental evolution?

### Mots-clés :

[astrobiologie](#), [astronomie](#), [astrophysique](#), [exobiologie](#)

[Haut de page](#)

### Plan

[Une question de tous les temps](#)

[La naissance de l'exobiologie](#)

[Le champ s'élargit](#)

[La situation internationale](#)

[L'exobiologie en France](#)

[Le futur ?](#)

[Haut de page](#)

### Texte intégral

## Une question de tous les temps

1. La question de l'existence et de la nature d'une éventuelle vie extraterrestre a été réservée pendant très longtemps à la littérature, qu'il s'agisse de textes philosophiques ou d'ouvrages de science fiction... L'idée est en effet présente dans de très nombreux écrits. En particulier les réflexions d'Anaximandre de Milet (610 à 546 av. J. C.), d'Empédocle (490 à 435 av. J. C.), de Démocrite (460 à 435 av. J. C.) et d'Aristote (384 à 322 av. J. C.) sur l'origine de la vie suggèrent fortement l'idée que ce phénomène est universel et que la vie est aussi présente ailleurs. De Giordano Bruno, qui périt sur le bûcher de l'église catholique et romaine en 1600, et son *Infini, l'univers et les mondes*, à Bernard de Fontenelle (1657-1757), et ses *Entretiens sur la pluralité des mondes*, ou plus récemment Camille Flammarion (1842- 1925) et ses nombreux ouvrages de vulgarisation, dont *La pluralité des mondes habités*, la notion d'une vie

ailleurs, et même d'une vie intelligente, est largement développée.

2. Toutefois, malgré quelques actions ponctuelles, comme la recherche de micro-organismes dans des météorites par Louis Pasteur, la science de la vie extraterrestre a tardé à apparaître. Les observations de la planète Mars pendant la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle ont généré le long épisode des canaux martiens, et laissé croire, jusqu'au début du XX<sup>e</sup>, à la présence de canaux artificiels sur Mars (contribuant sans doute au mythe des petits hommes verts). Les observations ultérieures faites avec des télescopes plus performants ont conduit à abandonner totalement cette hypothèse. On a toutefois continué de penser que Mars pouvait être habitée. Jusqu'aux années 1960, les changements de couleur de la surface martienne observés par les astronomes étaient même interprétés comme la présence de végétation.

3. En parallèle, le développement de la radioastronomie a ouvert de nouvelles possibilités pour rechercher une vie ailleurs, et, plus précisément, une vie intelligente : il « suffisait » d'écouter le cosmos et de détecter d'éventuels messages dans le domaine des ondes radio. Cette approche est appelée aujourd'hui « SETI » de l'acronyme Search for ExtraTerrestrial Intelligence (recherche d'intelligence extraterrestre). La première expérience SETI a été effectuée en 1960 par le jeune radioastronome Franck Drake. Des centaines d'écoutes de ce type ont été menées depuis, avec des outils de détection et de traitement de données plus adaptés, y compris en France au radiotélescope de Nançay sous l'impulsion de Jean Heidmann et François Biraud. Cependant, la systématique dans le domaine de la recherche de vie extraterrestre est issue d'une tout autre approche : l'exploration spatiale.

## La naissance de l'exobiologie

4. C'est pendant le développement du programme Apollo de la NASA que le mot « exobiologie » a été inventé. La NASA se préparait à envoyer des astronautes sur la Lune. Ils allaient y collecter des échantillons et les rapporter sur Terre. N'y avait-il pas là un risque que ces échantillons contiennent des micro-organismes lunaires, susceptibles d'interagir avec la vie terrestre et de la mettre en péril ? La NASA a alors constitué un groupe de travail pour étudier cette question. Un des membres de ce groupe, Joshua Lederberg<sup>1</sup>, lauréat du prix Nobel de médecine en 1958, introduisit le mot « exobiologie » pour désigner la science qui s'intéresse à la vie extraterrestre.

5. Nous connaissons aujourd'hui les conditions hostiles qui règnent à la surface de la Lune, irradiée par les rayonnements très énergétiques émis par le soleil (UV et vent solaire) et les rayons cosmiques, incompatibles avec l'apparition et le développement de systèmes vivants. Aussi, l'hypothèse de la présence possible sur notre satellite naturel de micro-organismes vivants, y compris ceux que nous aurions pu y apporter lors des missions d'exploration, est elle abandonnée. En revanche, l'exobiologie était née et ce nouveau domaine scientifique allait connaître une expansion très rapide. Six ans seulement après le premier pas de l'Homme sur la Lune, la NASA lançait la mission Viking vers Mars. Chacune des deux sondes Viking qui se posèrent à la surface de la planète rouge l'été 1976 incluait les premières expériences exobiologiques de l'exploration spatiale : trois instruments spécifiquement destinés à mettre en évidence une activité biologique dans le sol martien.

## Le champ s'élargit

6. Depuis, le domaine de l'exobiologie a largement évolué, sous l'impulsion de microbiologistes mais aussi de chimistes et d'astrophysiciens, comme Carl Sagan. Ce

scientifique qui a travaillé avec Lederberg, a su marier de façon efficace et fructueuse les sciences physiques et sciences de l'Univers avec les sciences de la vie. Premier exobiologiste ayant une réelle approche pluri- et interdisciplinaire, il a su aussi promouvoir ce nouveau domaine par une activité de vulgarisation exceptionnelle. Aujourd'hui, l'exobiologie a largement repoussé ses frontières. Ce domaine englobe à présent l'étude de l'origine, de la distribution et de l'évolution de la vie dans l'Univers, ainsi que des processus et structures qui sont liés à la vie. L'exobiologie est donc devenue aujourd'hui l'étude de la vie dans l'Univers. En parallèle, la communauté des astronomes et principalement des radioastronomes s'intéressant aux expériences « SETI », a introduit au début des années 1980 l'appellation « Bioastronomie ». Elle a aussi convaincu l'Union astronomique internationale de créer une commission sur cette thématique. Cette communauté organise depuis une conférence internationale tous les trois ans.

7. Plus récemment, au milieu des années 1990, la NASA a introduit le terme « Astrobiologie » pour désigner un domaine scientifique quasi identique (à la différence indiquée par l'agence américaine, que l'astrobiologie inclut le futur de la vie). Coïncidence ou stratégie, la NASA a lancé cette appellation alors qu'elle préparait son ambitieux programme d'exploration de Mars et avait besoin d'un soutien important du Congrès. Ce programme a pu être développé avec succès, en commençant par les lancements des missions Mars Global Surveyor et Mars PathFinder en 1996. Au même moment, la NASA créait son programme d'institut virtuel d'astrobiologie (NASA Astrobiology Institute ou NAI) qui réunit aujourd'hui seize centres aux États-Unis, avec de larges collaborations internationales.

8. En fait, ces trois appellations (sans compter une quatrième, « Cosmobiologie », peu utilisée) sont quasi-synonymes et, grosso modo, désignent toutes l'étude de la vie dans l'Univers. Il s'agit d'un domaine faisant appel à de nombreuses disciplines, allant des sciences souvent considérées comme « dures », telles que la physique (et l'astrophysique), en passant par les sciences « moins dures » de la chimie, la géologie, la biologie et les sciences de la vie en général, et allant même jusqu'aux sciences de l'homme et de la société.

9. Les approches sont nombreuses. Elles comprennent bien sûr la recherche de vie ou de signatures biologiques, présentes ou passées, ailleurs que sur Terre. Cette recherche peut se faire dans le système solaire par télédétection ou, depuis peu, grâce au développement des technologies spatiales, par mesures *in situ*. Elle peut aussi se faire hors du système solaire, par l'approche SETI et devrait pouvoir se faire dans un futur proche, par la détermination de la composition des atmosphères des planètes extrasolaires ou « exoplanètes », que nous savons détecter depuis plus de dix ans (près de 300 répertoriées à ce jour).

10. Mais l'exobiologie (et ses synonymes) inclut aussi l'étude du seul exemple de vie dont nous disposons pour l'instant : la vie terrestre comme référence. Plus précisément, l'étude de son ou ses origine(s), de sa diversité, de son évolution et de la vie terrestre dans des conditions extrêmes. La vie sur Terre est l'aboutissement d'une évolution chimique de composés organiques (~carbonés) en présence d'eau liquide, et sous flux d'énergie. Aussi l'exobiologie comprend-elle également l'étude de la chimie organique dans des environnements extraterrestres.

## La situation internationale

11. La communauté exobiologique existait en fait avant l'invention de ce mot. On peut considérer qu'elle a commencé à se structurer au milieu des années 1950, et ce autour d'une nouvelle thématique : la chimie « prébiotique ». Stanley Miller venait de publier en 1953 dans la revue *Science* les résultats de son expérience, à présent célèbre. Il démontrait que

l'évolution chimique de composés très simples dans des conditions simulant l'environnement primitif terrestre, peut conduire à des composés d'intérêt biologique, première étape vers la vie.

12. Il montrait aussi l'importance de la chimie de composés organiques simples dans l'eau liquide. De nombreuses équipes de chimistes et physicochimistes dans le monde se sont alors lancées dans des études de cette chimie particulière que l'on appelle à présent « prébiotique ».

13. Dès les années 1970, une société savante internationale est créée qui couvre tous les domaines liés à l'origine de la vie : l'ISSOL (International Society for the Study of the Origin of Life). Une conférence internationale sur l'origine de la vie (International Conference on the Origin of Life) est organisée tous les trois ans. La quinzième a eu lieu en août 2008 à Florence et a rassemblé près de 400 participants. Du fait des très forts recouvrements entre les questions traitées lors de cette conférence et celle de bioastronomie, il est prévu qu'en 2011 les deux soient combinées. La communauté exobiologique française a proposé de l'organiser à Montpellier, ce qui vient d'être accepté par les responsables des deux organismes.

14. Le domaine de l'exo/astrobiologie est aussi présent depuis la fin des années 1960 dans les commissions scientifiques du COSPAR (Committee on Space Research), organisme international qui s'occupe de la recherche spatiale sous tous ses aspects. L'assemblée générale du COSPAR qui a lieu régulièrement depuis 1960 (tous les ans, puis tous les deux ans depuis 1980) réunit plusieurs milliers de scientifiques, dont de nombreux exo/astrobiologistes. Sa commission des sciences de la vie comprend d'ailleurs depuis 2004 une sous-commission d'astrobiologie.

15. Le domaine a connu un accroissement très important depuis les années 1980, et les communautés exo/astrobiologiques se sont structurées dans de nombreux pays dans les années 1990. Aux États-Unis, cette structuration s'est effectuée, comme indiqué précédemment, avec la création du NAI en 1998. En France, au même moment le GDR Exobio est créé par le CNRS et va jouer ce rôle. De nombreux autres pays suivent ces exemples : Centre d'astrobiologie en Espagne (CAB), en Grande-Bretagne, Suède, Russie, Australie, Finlande, Japon et Mexique, entre autre. Malgré l'établissement de ces structures nationales, l'Europe n'est pas en reste. La société savante européenne d'astrobiologie (European Astrobiological Network Association, EANA) voit le jour en 2001, sous l'impulsion de nombreux exo/astrobiologistes responsables ou représentants des structures nationales citées ci-dessus, et avec le soutien de l'Agence spatiale européenne (ESA). L'un des principaux acteurs dans la création de l'EANA est un français, André Brack, qui en a assuré la présidence jusqu'en 2008.

16. Parallèlement, le développement des activités spatiales en Europe et des missions d'exploration planétaire est en train d'ouvrir l'approche « recherche *in situ* » de l'exo/astrobiologie à une communauté scientifique de plus en plus large. L'appel à proposition de mission « Cosmic Vision, 2015-2025 » fait par l'ESA en 2006 a donné lieu à de nombreuses réponses de la communauté internationale, dont une quarantaine intéressant l'exo/astrobiologie.

## L'exobiologie en France

17. Dès les années 1970, plusieurs équipes travaillent en France sur l'origine de la vie (parfois appelée alors « Biogenèse »). Chimistes, biochimistes, biophysiciens osent se fourvoyer dans un domaine alors très éloigné des thèmes prioritaires soutenus par les grands organismes de recherche, dont le CNRS. Des expériences et/ou des concepts sont développés par les équipes

de René Buvet, de Charles Sadron, d'Orcel, de Pulmann. De très jeunes (à l'époque) chercheurs sont attirés par ce domaine et rejoignent ces équipes. Certains parmi eux iront aussi effectuer des séjours de longue durée aux États-Unis : au début des années 1970, André Brack chez Leslie Orgel (chimie prébiotique des acides nucléiques) ; François Raulin chez Carl Sagan (synthèse prébiotique d'acides aminés), puis en 1979 chez Cyril Ponnaperuma (chimie organique extraterrestre en relation avec la mission Voyager). C'est à cette époque que la recherche spatiale a commencé à prendre de l'importance dans la communauté exobiologique, avec le développement d'expériences d'irradiation en orbite basse, et surtout de missions d'exploration planétaire.

18. La thématique exobiologie est reconnue par l'agence spatiale française (Centre national d'études spatiales, Cnes) dès la fin des années 1970, du fait des expériences en orbite terrestre. Elle fait alors partie du domaine des sciences de la vie et est scientifiquement coordonnée par un biologiste : Hubert Planel. Dix ans plus tard, avec la perspective des missions d'exploration planétaire, l'exobiologie passe dans le domaine de l'exploration de l'Univers au Cnes.

19. La communauté française est alors prête à se structurer. Coordonné par plusieurs d'entre eux, dont F. Raulin et A. Brack, et avec le soutien du CNRS et du Cnes, le premier colloque national d'exobiologie a lieu à Roscoff en 1997. Une demande de création de structure nationale d'exobiologie est envoyée au CNRS l'année suivante. Il en résulte en 1999 la création par le CNRS d'un Groupement de recherche en exobiologie (GDR Exobio) qui sera dirigé jusqu'en 2006 par F. Raulin, puis depuis 2007 par Frances Westall. Le GDR Exobio est en fait une fédération d'équipes qui a pour but de promouvoir et coordonner le développement de programmes en exo/astrobiologie en France, avec l'appui du CNRS (ex-SDU, actuellement MPPU) et du Cnes. Il concerne plusieurs dizaines de laboratoires et environ 200 chercheurs. Il lance un appel annuel à propositions, incite l'organisation de nombreux ateliers sur ses thématiques. Une école d'été d'exobiologie est organisée tous les deux ans (l'École de Propriano, coordonnée par Muriel Gargaud, de l'observatoire de Bordeaux). Enfin, il organise régulièrement un colloque national d'exobiologie (le dernier, fin mai 2008).

20. En 2004, compte tenu de l'expansion du domaine, le Cnes décide de créer un groupe thématique d'exo/astrobiologie, analogue pour l'exobiologie de ce qu'est son groupe Système solaire pour l'exploration planétaire.

21. Enfin, le CNRS crée en janvier 2007 un nouveau Programme interdisciplinaire « Origine des planètes et de la vie ». Le PID OPV avec un budget (500 kEuros/an) d'un ordre de grandeur supérieur à celui du GDR, devrait progressivement intégrer ce dernier. Son conseil scientifique comprend d'ailleurs de nombreux membres du GDR Exobio, dont Marie-Christine Maurel et F. Raulin, respectivement présidente et secrétaire scientifique du PID OPV. De plus, le PID OPV est dirigé par deux astrophysiciennes, Anne-Marie Lagrange et Maryvonne Gerin. Ce programme est un exemple d'interdisciplinarité : 50 propositions ont été reçues en réponse à son dernier appel d'offres, venant d'équipes appartenant à une large variété de départements du CNRS (MPPU, SC, SDV, SHS en particulier).

## Le futur ?

22. L'exobiologie est par essence même basée sur l'interdisciplinarité, faisant intervenir la plupart des grands champs disciplinaires classiques, des sciences dures, aux sciences molles... La chimie est quasiment située à la frontière entre ces deux grands domaines. Or, les chimistes ont été parmi les premiers exobiologistes en France, c'est sans doute une conséquence de cette place particulière.

23. Mais il faut aussi noter le rôle clé joué par l'astrophysique et la planétologie dans le développement de l'exobiologie : la création du GDR puis celle du PID OPV en sont une illustration claire. L'interdisciplinarité, c'est l'avenir de la science. L'adaptation puis l'utilisation d'outils développés par d'autres champs disciplinaires peut être une source très riche de nouvelles découvertes. Le développement des recherches dans le monde des sciences de la vie et celui des sciences de l'environnement (atmosphère, climat) l'a déjà démontré. Ce devrait être encore plus exemplaire dans le cas de l'exobiologie, qui couvre toutes les sciences, des plus dures aux plus douces...

24. Or, les grands organismes qui gèrent la recherche publique en France sont encore bien mal adaptés à ce besoin d'interdisciplinarité. Le découpage en départements et/ou en sections du CNRS rend parfois bien difficile les actions transdisciplinaires, telles que celles s'appuyant sur la chimie ou les sciences de la vie et la planétologie, dans le cadre de programmes tels que le PID OPV. Avec l'établissement de commissions interdisciplinaires, le CNRS a, en partie, résolu les problèmes.

25. En revanche, ces problèmes persistent de façon très pénalisante pour les domaines tels que l'exobiologie en ce qui concerne l'enseignement supérieur, avec le découpage en sections du CNU dont les cloisonnements restent difficilement compatibles avec une réelle interdisciplinarité.

## Notes

<sup>1</sup> Biologiste américain, professeur et directeur des laboratoires de médecine moléculaire à l'université Stanford, Joshua Lederberg est le fondateur de la génétique moléculaire.