

## Échos des Journées nationales

Paris, les 17, 18 et 19 novembre 2017

*La belle réussite des Journées nationales 2017 organisées par l'APBG en partenariat avec l'INSB du CNRS démontre la volonté des professeurs de SVT, toujours aussi nombreux, de participer aux actions de formation et aux activités de l'APBG. Grâce à la liaison avec l'enseignement supérieur et la Recherche, l'APBG développe, chaque année, une formation continue avec le monde scientifique au plus haut niveau, reconnue par le ministère et nécessaire pour les professeurs devant l'évolution rapide des nouvelles sciences. Avec près de 450 participants qui ont plébiscité les conférences, la présentation des matériels et productions scientifiques de SVT, tous les objectifs ont été atteints, valorisant cette action pérenne de l'APBG comme stage de formation professionnelle.*

*Des dates à retenir pour 2018, à l'Université Paris-Descartes :  
les 16, 17 et 18 novembre.*



**Ouverture des Journées avec Bruno Lucas, CNRS et Serge Lacassie, président de l'APBG**



**La première conférence sur la symbiose par Sébastien Duperron**

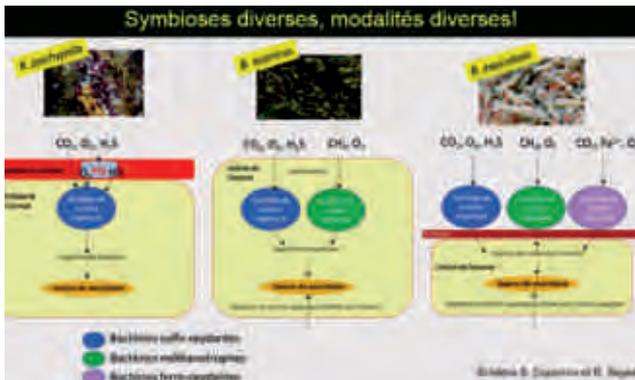
## La symbiose : un mécanisme de couplage biosphère-géosphère dans les grands fonds marins

Sébastien Duperron

Sébastien Duperron est professeur au Muséum national d'Histoire naturelle et membre de l'Institut Universitaire de France. Il étudie la diversité et le fonctionnement des symbioses entre bactéries et animaux, et l'interaction entre holobionte et environnement dans des milieux extrêmes tels que les sources hydrothermales sous-marines.



Les expéditions de recherches océanographiques depuis celle du Challenger en 1869 jusqu'à la mise au point de submersibles permettant des plongées profondes (bathyscaphe, Nautille, Alvin...) montrèrent que les fonds marins sont globalement pauvres en vie. En effet seul 1 % de la matière organique produite à la surface arrive sur le fond. Cette vision change totalement en 1977 avec la découverte des fumeurs noirs et des oasis associées. Les fluides sortant des cheminées à 350 °C contiennent sulfures de fer et de cuivre, du CO<sub>2</sub>, du méthane. En absence de lumière, les organismes vivant dans ces écosystèmes particuliers dépendent d'une autotrophie liée à l'oxydation de H<sub>2</sub>S. Sébastien Duperron, dans sa présentation, va ensuite décrire les particularités de 3 de ces espèces.



*Riftia pachyptila*, ver annélide de 2 m de long, chez qui le tube digestif est présent à l'état embryonnaire mais régresse et est absent chez l'adulte. On observe une symbiose entre des bactéries utilisant H<sub>2</sub>S et les cellules du trophosome de *Riftia*. L'hémoglobine du *Riftia* possède deux sites : un pour O<sub>2</sub>, l'autre pour H<sub>2</sub>S. Les bactéries symbiotiques sont acquises à chaque génération.

La moule *Bathymodiolus* montre également une symbiose entre bactéries et les branchies. La population de bactéries est flexible en fonction des conditions du milieu : bactéries sulfuroxydantes majoritaires en milieu H<sub>2</sub>S, bactéries méthanotrophes majoritaires en milieu CH<sub>4</sub>. Le dernier exemple proposé est le cas de la crevette *Rimicaris*. Les bactéries symbiotiques se retrouvent sur la face interne de la cuticule du céphalothorax. La symbiose se renouvelle à chaque mue.

Ces oasis hydrothermales sont des écosystèmes très riches et complexes mais aussi très fragiles. Les projets d'exploitation des ressources métalliques représentent un grand danger pour ces milieux et pour cette biodiversité unique.

Résumé par Serge Lacassie

## La place des virus dans l'évolution

Chantal Abergel

Chantal Abergel est Directrice de Recherche CNRS, directrice adjointe du laboratoire Information Génomique et Structurale. Ses recherches se concentrent sur l'étude des 4 familles de virus géants actuellement décrites, les Mimiviridae et les Pandoraviridae, puis les Pithoviridae et Mollivirus dont les premiers représentant ont été isolés à partir d'échantillons de pergélisol vieux de plus de 30 000 ans.



Les différentes étapes qui ont amené à la découverte des virus sont présentées : la mise au point du premier microscope a permis à Leeuwenhoek (1632-1723) d'observer des cellules ; la formulation par Pasteur (1878) de la théorie des germes, un microbe est à l'origine d'une maladie infectieuse ; la découverte du virus du tabac par Dimitri Ivanovski (1892) capable de traverser un filtre de Chamberland devant retenir les microbes et la caractérisation biochimique d'un virus constitué d'un acide nucléique et d'une protéine par Stanley, prix Nobel de chimie (1935). En 1957, Wolff a défini les virus par des critères négatifs qui les différencient des cellules : ils ne sont pas visibles en microscopie optique ; ils ne sont pas cultivables, ils ne produisent pas d'énergie ; ils ne pratiquent pas la traduction et ne se divisent pas. Ces assertions devront être nuancées par la suite.

L'agent de la légionellose a d'abord été décrit comme une bactérie (*Bradfordcoccus*) en 1992 mais son observation au microscope électronique en 2003 a montré une structure géométrique typique d'un virus. C'est une particule virale d'un micromètre de diamètre appelée Mimivirus au génome d'ADN de 1000 gènes c'est à dire plus de gènes que certaines bactéries. Mimivirus est donc un virus géant.



« Ce virus possédant des gènes de la traduction qu'il n'effectue pas pourrait donc être un descendant d'une cellule ancestrale qui par mutations aléatoires aurait perdu des gènes et des fonctions et que son statut de parasite l'aurait préservé de la sélection naturelle ». Comme un être cellulaire, Mimivirus peut être parasité par un autre virus (Virophage). « Si ce virus peut être malade c'est qu'il est vivant ».

Des virus géants sont découverts en 2005 parasitant des protistes marins comme *Megavirus chilensis* dans le pacifique au large du Chili, porteurs de gènes inconnus chez les autres êtres vivants. Une autre famille de virus géants a été reconnue comme les *Pandoraviridae*, un de ses membres, *Pandoravirus salinus* (2011) montre un génome de 2550 gènes plus important que celui de certains parasites eucaryotes. Des virus géants de 30000 ans ont été exhumés (2015) du pergélisol et réactivés comme *Pithovirus sibericum*.

Ces virus géants sont aujourd'hui regroupés en quatre familles ne partageant rien d'un point de vue génomique et ayant comme seul point commun leur mode dissémination de leurs gènes par des virions.

« Les virus ont pour origine les perdants de l'évolution qui sont devenus les parasites des vainqueurs ».

Résumé par Jean-Marie Gendron

## La vie dans les conditions extrêmes

### Purificación López-García

*Directrice de recherche au CNRS, au Laboratoire d'Ecologie, systématique et évolution de l'Université Paris-Sud, elle anime une équipe focalisée sur l'étude de la diversité, l'écologie et l'évolution microbiennes. Elle est membre associé de l'Académie Royale de Belgique, classe des Sciences, et a reçu la médaille d'argent du CNRS en 2017.*



Au cours des trente dernières années, nous avons assisté à la découverte d'une extraordinaire diversité de micro-organismes habitant des milieux que l'on croyait auparavant hostiles à la vie.

À plusieurs reprises au cours de l'évolution, des micro-organismes se sont adaptés à des environnements où la température, le pH, la salinité, la pression, la sécheresse, les doses de radiation ou encore les concentrations de métaux sont extrêmes. Ces micro-organismes qui vivent et se développent optimalement dans des environnements où les conditions physico-chimiques sont insoutenables pour le reste des êtres vivants, sont qualifiés d'extrémophiles.

Aujourd'hui, on sait que la vie microbienne peuple des environnements très variés et s'étend sur Terre partout où l'on trouve l'eau à l'état liquide, depuis les calottes polaires et les sols gelés en permanence (pergélisols ou permafrosts) jusqu'aux sources hydrothermales sous-marines, dans les déserts, dans des lacs hypersalins ou de soude, dans des eaux acides, à

l'intérieur de la croûte terrestre, les mines de sel, les déchets radioactifs ou encore les déchets industriels.

Lors de sa conférence, Madame López-García montra quelques très beaux exemples d'environnements peuplés par les extrémophiles : une source chaude dans le parc de Yellowstone aux Etats unis (température 80-90 °C) ; le désert de sel de Chott-el-Jerid en Tunisie, où les marais salants sont colonisés par des microorganismes halophiles (d'où leur couleur rougeâtre); Le Rio Tinto en Espagne, rivière acide (pH = 2,25) et présentant de fortes concentrations en métaux (fer et arsenic notamment).

### La survie dans ces environnements extrêmes

Ces conditions mettent à l'épreuve les propriétés de stabilité et de fonctionnalité des macromolécules biologiques. Des études de biologie moléculaire montrent que ces microbes sont prodigieusement bien adaptés aux conditions extrêmes et que leurs molécules ne sauraient fonctionner dans des milieux plus doux. De là, l'intérêt biotechnologique que les extrémophiles ont suscité. Mais surtout, la découverte des extrémophiles et des nouvelles limites de la vie sur Terre a permis d'aborder la question de la vie extraterrestre de façon rigoureuse.

Certains micro-organismes de notre planète seraient parfaitement capables de vivre dans les conditions environnementales qui existent dans quelques régions d'autres planètes et satellites, ou d'y avoir existé dans le passé. L'étude des micro-organismes des environnements extrêmes a ainsi ouvert des nouvelles perspectives pour aborder la question des origines de la vie et pour l'exploration de la vie dans l'univers.

Le tableau ci-dessous fournit une mini-fiche d'identité des principaux champions de l'extrême que l'on retrouve dans chacun des trois domaines du vivant.

Physicochemical parameter	Type of organism	Definition / optimum growth
Temperature	Hyperthermophile	>80°C
	Thermophile	60°-80°C
	Psychrophile	< 10-15 °C
pH	Acidophile	pH = 2-3
	Alkaliphile	pH > 9-10
Salty	Halophile	high salt concentrations (~2.5M NaCl)
Pressure	Barophile or	Haute pression
	Piezophile	
Dessiccation	Xerophile	anhydricobiosis
Radiation	Radioresistant	high radiation
Metals	Metaltolerant	High metal concentrations

Résumé par Gilbert Fauré

## L'auto-organisation du vivant

### Laurent Blanchoin

Laurent Blanchoin, Directeur de recherche 1<sup>re</sup> classe au CNRS à Grenoble est biochimiste de formation. Il s'intéresse à la compréhension des processus contrôlant l'auto-organisation du squelette cellulaire ou cytosquelette. Il est auteur de plus de 100 publications et récent lauréat de l'European Research Council.



L'auto-organisation est un phénomène de mise en ordre croissant, et allant en sens inverse de l'augmentation de l'entropie ; au prix d'une dissipation d'énergie qui servira à maintenir la structure auto-organisée (définition wikipedia).

Peut-on appliquer ces principes généraux dans le vivant aux différentes échelles : moléculaire, cellulaire, organique et population ?

La dynamique du vivant est un défi à la compréhension : comment passe-t-on du système gène/protéine (qq nm) à l'organisation d'une cellule par exemple son cytosquelette puis à un mouvement dans une cellule ?

Elle est fondée sur le principe de coordination des réactions dans l'espace et le temps : les systèmes sont en état stationnaire dynamique qui donne l'apparence d'un équilibre.

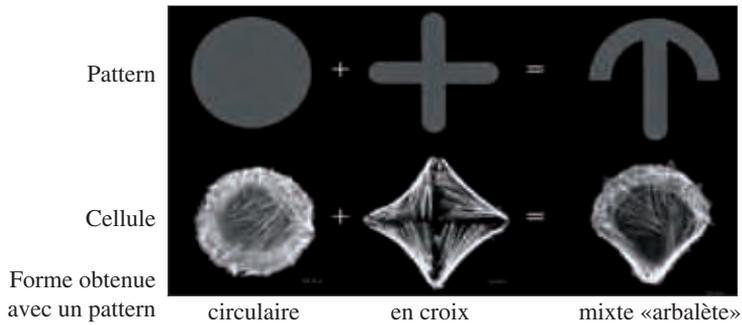
Dans le cas du cytosquelette cellulaire, des monomères forment des filaments organisés en réseau dans une dynamique stationnaire selon plusieurs principes :

– la compétition sur un nombre limité d'éléments : avec plus d'éléments à disposition, on peut construire des structures plus grandes. Par exemple les monomères du cytosquelette de la levure *Schizosaccharomyces pombe* permettent de former soit des structures en anneaux, des filaments ou des patchs. En inhibant une action de la cellule par une drogue on peut observer les conséquences sur la cellule : en inhibant les patchs, on déclenche la formation de filaments ;

– polymères biologiques et conditions limites : chaque polymère possède des conditions au-delà desquelles elles ne peuvent se maintenir du fait de leur capacité de déformation. Plus l'indice  $L_p$  est grande plus la structure est rigide (pour les microtubules du cytosquelette  $L_p > 1\text{mm}$ , environ la taille d'une cellule), inversement quand le  $L_p$  est faible la structure est souple (pour la double hélice d'ADN  $L_p = 45\text{nm}$ ).

### Quelques expériences illustratives

– Après purification de monomères, on essaye de reconstituer une structure cellulaire in vitro. Les monomères s'auto-assemblent spontanément mais l'auto-organisation peut être imposée par des contraintes. Par exemple si on place des protéines supports dans différentes formes (cercle, étoile..) sur une plaque non adhérente, on crée des assemblages différents de monomères : la géométrie initiale commande la forme finale. On peut ainsi simplifier un modèle pour en comprendre la complexité : on peut imposer une forme à une cellule en jouant sur la forme de son cytosquelette.



– On peut aussi reprogrammer la forme d’une cellule en modifiant les conditions aux limites de son environnement. En exerçant une force sur la cellule dans une « presse à cellule », on peut manipuler les conditions aux limites spatiales auxquelles les réseaux du cytosquelette sont sensibles. On peut ainsi établir des lois d’organisation des formes cellulaires.

– Expérience de bio-inspiration : utiliser des processus biologiques pour développer de nouveaux systèmes. Un exemple mis en œuvre au *cytomorpholab* : des filaments d’actine sont ornées de billes d’or permettant de les rendre conductrice d’électricité. Le projet est de réaliser des connecteurs électriques moléculaires en 3D. La construction des filaments est réalisée à partir de pattern à base circulaire de l’ordre du  $\mu\text{m}$  sur une plaque adhérente : en quelques minutes des filaments de plusieurs dizaines de  $\mu\text{m}$  de long s’auto-organisent et sont capables de se connecter entre deux plaques.

Publications et nombreuses illustrations sur le site [www.cytomorpholab.com](http://www.cytomorpholab.com)

Résumé par Armand Audinos

## Présentation du livre « Étonnant vivant : découvertes et promesses du XXI<sup>e</sup> s »

**Thierry Gaudé**

*Thierry Gaudé est Directeur de recherche au CNRS, spécialiste en biologie de la reproduction chez les plantes à fleurs. Il a été recruté au CNRS en 1983 puis a rejoint l’École Normale Supérieure de Lyon en 1992 où il a développé une équipe de recherche travaillant sur les systèmes limitant les croisements consanguins chez les plantes. Ses travaux ont été récompensés par le Prix Leconte de l’Académie des Sciences en 2001, lauréat des « Avancées majeures en biologie française » en 2007 ; il est membre EMBO depuis 2008.*



Depuis la fin du XX<sup>e</sup> siècle de nouvelles approches dans les sciences du vivant sont apparues : nouvelles approches technologiques, génomique, protéomique... Dans le même temps, notre société a peu de visibilité des sciences fondamentales, méconnaissance, perte d’attrait, défiance entre sciences et société, manque de soutien des politiques. Ce livre « étonnant vivant » est un livre manifeste avec pour objectif d’émerveiller, de faire rêver, de promouvoir les sciences du vivant, de rappeler aux décideurs que la recherche nécessite un financement. C’est un ouvrage pluridisciplinaire réunissant biologistes, philosophes, mathématiciens, informaticiens. L’ouvrage est découpé en 5 chapitres.

Chapitre 1 : Qu'est-ce que le vivant ? Comment le définir, quels sont les composants élémentaires, la vie extraterrestre existe-t-elle ?

Chapitre 2 : histoire du vivant. Les techniques de séquençage d'ADN ont permis une révision totale de l'arbre du vivant. Un exemple parmi d'autres : les séquençage d'ADN d'*Homo sapiens* et d'*Homo neandertalensis* montrent qu'il y a eu métissage entre ces deux groupes. Ces gènes de Neandertal sont à l'origine des transporteurs d'oxygène particuliers des Tibétains, du tissu graisseux brun des Inuits.

Chapitre 3 : complexité du vivant. Cette complexité nécessite de nouveaux outils, et en particulier des compétences nouvelles en bio-informatique.

Chapitre 4 : l'être vivant dans son environnement. Deux exemples : l'expression du gène de l'auxine sous l'effet du son ; le soi et ses limites : cancer, microbiote, etc..

Chapitre 5 : bio-inspiration, bio-mimétisme Le message essentiel que veut faire passer cet ouvrage est que la recherche fondamentale est

une prise de risque nécessitant curiosité et temps long et qu'il ne faut surtout pas s'enfermer dans une recherche programmée. Les innovations de demain sont à ce prix.



Résumé par Serge Lacassie

## Les séismes lents

**Romain Jolivet**

*Maître de conférences au sein du département de Géosciences de l'École Normale Supérieure de Paris depuis 2016, ses travaux portent sur la compréhension des mécanismes physiques qui contrôlent le comportement des failles tectoniques à court terme. Plus précisément, ils portent sur l'exploitation de données de déplacements de surface (i.e. géodésiques) et de sismologie pour étudier la dynamique du glissement sismique et aismique.*

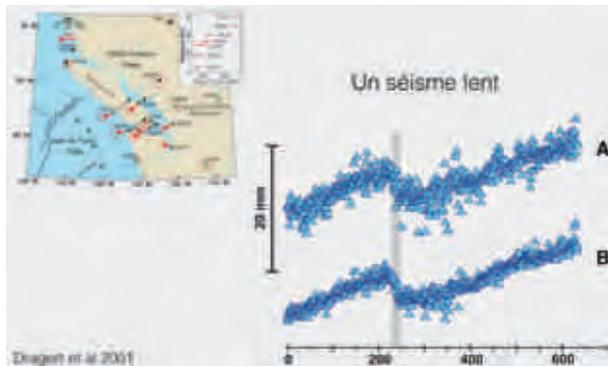


L'idée du déplacement relatif de deux compartiments provoquant des vibrations n'est apparue que lors du séisme de Néo, Japon, en 1891. Puis le grand séisme du 1906 de San Francisco a fait prendre un essor important à cette science naissante qu'est la sismologie.

Au premier ordre, on avait compris que quand, de part et d'autre d'une faille, les deux compartiments sont couplés, la roche accumule des contraintes jusqu'à ce que la faille rompe. Le relâchement brusque des contraintes en quelques secondes provoque un mouvement de part et d'autre de la faille : c'est le séisme classique ou rebond élastique. Ces contraintes sont dues au mouvement des plaques lithosphériques.

Cependant, au second ordre, grâce à des observations satellites, on a pu construire les vecteurs « déplacement de la surface ». Ces vecteurs montrent que le déplacement n'est pas réparti juste sur la faille mais aussi de part et d'autre et de façon très hétérogène. Parfois la partie superfi-

cielle de la plaque se tort de façon à accommoder le déplacement de toute la plaque et parfois il n'y a pas de torsion car la faille glisse de façon asismique. Quand on s'intéresse aux zones asismiques, on constate qu'historiquement ces zones n'ont pas provoqué de grands séismes classiques. Les données G.P.S. montrent que le mouvement est accommodé de façon presque continue. La faille accumule des contraintes pendant une durée assez brève (quelques années) puis les relâche lentement en quelques jours : c'est un séisme lent. Il n'y a pas d'onde sismique apparente sur les sismomètres mais plutôt un trémor, sorte de bruit de fond qui augmente progressivement en intensité en plusieurs centaines de secondes. Il n'y a pas de mouvement brusque d'une centaine de secondes où toute l'énergie est dissipée mais un mouvement lent de plusieurs jours qui dissipe cette même énergie. Ces séismes lents existent partout aux limites des plaques et cohabitent sur une même faille avec les séismes rapides. Ils peuvent même parfois les déclencher, en rejetant les contraintes sur une zone adjacente déjà bloquée ; cet ajout de contraintes faisant atteindre le point de rupture de la faille bloquée, celle-ci découple brusquement les deux compartiments de la faille et provoque un séisme rapide.



**Déplacement d'une station d'enregistrement avec glissement asismique permanent et un glissement asismique épisodique = séisme lent**

Au troisième ordre, quand on observe encore de plus près les signes extérieurs du mouvement d'une faille asismique, on constate qu'elle peut émettre des signaux répétitifs à des fréquences de plus en plus élevées avant qu'un séisme ne se produise. C'est comme si, le long du plan de faille glissant lentement, il y avait des aspérités qui bloquent localement le mouvement et qui accumulent des contraintes relâchées très régulièrement au fur et à mesure du déplacement asismique environnant. C'est un mini déplacement sismique dans un environnement asismique. Sa fréquence indique la vitesse de déplacement de la faille asismique et la variation de sa fréquence apporte des informations sur l'accélération du séisme lent.

Pour conclure, sur une zone faillée plus large de quelques dizaines de kilomètres qu'une simple faille, il n'existe pas de zone homogène où les roches ont toutes la même rhéologie et où les contraintes sont d'intensité constante dans le temps. La limite entre deux plaques lithosphériques convergentes est constituée de zones très différentes : des zones couplées de grande surface, où les contraintes sont accommodées par la déformation des roches de la partie superficielle de la lithosphère et des zones où les contraintes sont accommodées par un déplacement saccadé rapide pour son occurrence (tous les ans par exemple) mais lent pour son mouvement (plusieurs jours) qui s'effectue de façon asismique. Sur ces surfaces découplées, il existe des petites zones locales, couplées, qui bloquent puis se relâchent très régulièrement au rythme de déplacement de la zone asismique. Hélas, l'hétérogénéité de la rhéologie et des contraintes locales ne permettent pas encore de prévoir un séisme.

Quatre questions restent vives. Quelles influences ont les séismes lents sur le cycle sismique ? Quelles sont les relations entre les séismes classiques et les séismes lents ? Quels liens existent-ils entre un séisme lent et la nucléation d'un séisme ? Et la question centrale : quelle est la physique d'un séisme lent ?

Résumé par Rémy Thomas

## Émergence de la vie multicellulaire, un nouveau chapitre de l'histoire de la vie, vieux de 2,1 milliards d'années

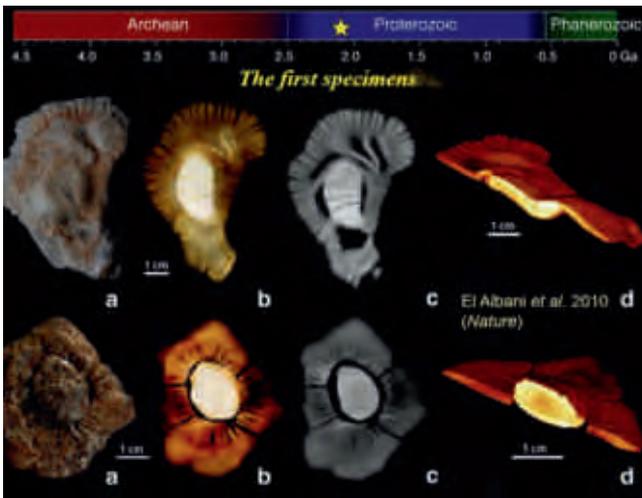
Abderrazak El Albani

Abderrazak El Albani est Professeur à l'Université de Poitiers, UFR SFA, Institut IC2MP, UMR 7285 (HydrASA) Bat. Sciences Naturelles (B35) Poitiers, France.



Cette vie multicellulaire a été découverte en 2010 dans le bassin sédimentaire de Franceville au Gabon. Ce bassin a été exploré car il est daté de façon fiable (2,1 Ga) et bien conservé car non métamorphisé. La carrière exploitée correspond à un dépôt deltaïque (type Burgess ou black shale) dont la profondeur n'a jamais dépassé 70 m.

Les nombreux fossiles (500 spécimens) ont été observés par l'utilisation de scanner tridimensionnel à haute résolution et 1500 tomographies ont permis la réalisation d'images 3D. Ces organismes seraient plutôt benthiques ou éventuellement vivaient entre deux eaux. Cette biodiversité était élevée car elle montre de nombreuses formes décimétriques pouvant atteindre une taille importante de 23 cm, cette dimension exclut l'idée que ces êtres soient unicellulaires mais plutôt des multicellulaires sans coquilles.



Deux spécimens en vue réelle et en tomographie

Les êtres multicellulaires qui sont un ensemble de taille importante de cellules autonomes à la croissance coordonnée, étaient considérés comme apparus avant cette découverte seulement il y a 550 Ma (faune d'Ediacara). Ces fossiles du Gabon constituent donc un bond considérable dans le temps. Leur présence dans ces niveaux de 2,1 Ga s'explique par un pic de l'oxygène atmosphérique (5 %) qui a suivi une glaciation généralisée, ensuite la chute de cet oxygène a provoqué une diminution de la biodiversité et l'extinction de ces formes. La faune d'Ediacara a aussi été contemporaine d'un pic de dioxygène.

Donc, avant 2 Ga la Terre n'a pas été seulement peuplée de microbes mais aussi de formes plus complexes.

Résumé par Jean-Marie Gendron

## Évolution géodynamique de la plaque Caraïbe

**Philippe Münch**

*Philippe Münch, spécialiste en géochronologie et thermochronologie Basse Température, est enseignant-chercheur à l'Université de Montpellier où il est Directeur Adjoint de l'UMR 5243 Géosciences Montpellier. Ses recherches portent sur la chronologie des déformations dans la plaque supérieure des zones de subduction, via l'étude des bassins sédimentaires et celle de leur substratum. Depuis plusieurs années, il étudie différentes subductions méditerranéennes ainsi que celle des Petites Antilles.*



### Une plaque singulière,

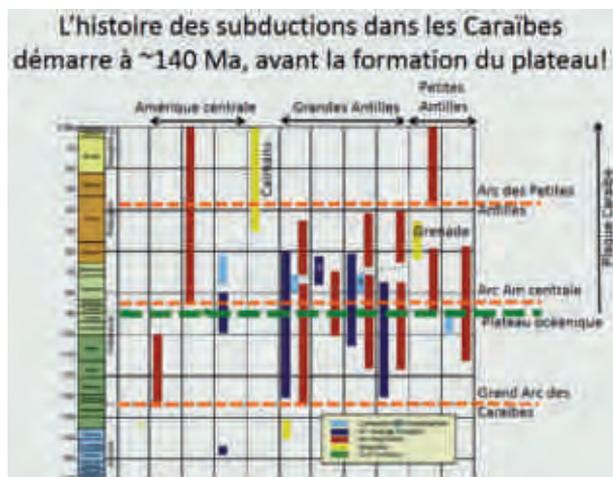
qui n'a pas été d'abord reconnue par tout le monde. Les limites nord et sud sont des failles transformantes avec des séismes superficiels et pas de volcanisme dans la région des Grandes Antilles. À l'ouest, sous le Mexique, à l'est au niveau des petites Antilles, ces limites correspondent à des séismes profonds et à du volcanisme. La tomographie sismique révèle à grande profondeur (1000 km) la trace d'un ancien SLAM.

Près de la limite nord, il apparaît un bassin océanique en pull-apart : c'est la « fosse » des Caïmans qui fonctionne depuis 49 Ma. Près de la limite sud se trouve une zone transformante avec des traces de subductions anciennes et nouvelles. Les forages océaniques montrent la présence de basaltes en coussins et de coulées de laves avec une croûte océanique étonnamment très épaisse (jusqu'à 20 km au lieu de 10 km) et âgée en moyenne de 90 Ma. La géochimie indique qu'il s'agit plutôt de basaltes de points chauds comme ceux des Galapagos, pourtant il n'y a pas de point chaud.

La plaque Caraïbes serait un plateau océanique sous-marin bordé par deux arcs volcaniques et deux zones de failles transformantes.

Les déplacements GPS indiquent un mouvement vers le nord.

### Histoire géodynamique de cette plaque



Il existe un ancien arc fossile de 80 à 100 Ma : le grand arc des Caraïbes. Les roches sont alors enfouies jusqu'à 40 km pour donner des schistes bleus et des éclogites (métamorphisme HP - BT) . Dans les petites Antilles, le magmatisme est plus jeune : de 25 Ma à l'époque actuelle. En Martinique le plan de subduction recule et traverse l'île d'est en ouest. La plaque Caraïbe serait un plateau océanique sous-marin lié au point chaud des Galapagos.

### **Conséquences majeures de cette histoire sur l'évolution du vivant**

Lors du voyage à bord du Beagle, Darwin notait le caractère sud américain des mammifères antillais ce qui indiquait que cet archipel était autrefois uni au continent méridional. On trouve des primates sud-américains fossiles en Jamaïque et des paresseux terrestres géants fossiles : le *Megatherium*.

Le grand arc des Caraïbes aurait alors offert une communication avec l'Amérique du sud soit une sorte de bras de Terre appelé autrefois « pont continental ». Après la subsidence de la ride d'Aves, certains rongeurs se seraient trouvés isolés pour donner des espèces endémiques ; dont un rongeur géant à taille humaine : *Amblyrhiza*.

Résumé par Gilbert Gisclard

### **La chaîne hercynienne**

#### **Michel Ballèvre**

*M. Ballèvre est Professeur à l'Université de Rennes 1, où il enseigne la tectonique et la pétrologie. Membre du Laboratoire « Géosciences Rennes » (UMR CNRS 6118), dont il assure la direction pendant 5 ans, ses travaux de recherche portent sur l'évolution des chaînes de montagne, au premier rang desquels les chaînes alpine et varisque.*



Il s'agit d'une chaîne édifée au Carbonifère, érodée au permien, recouverte par une couverture du secondaire. Dans le Boulonnais, la couverture secondaire repose en discordance sur le socle hercynien déformé.

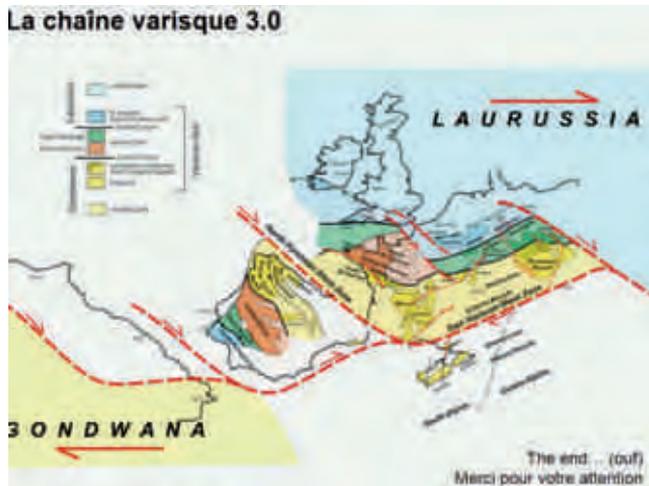
Dans les Vosges du Nord, la chaîne datée de 340 Ma a subi une érosion précoce au Permien - Trias puis est recouverte par une couverture secondaire.

Il ne reste aucun relief de la chaîne hercynienne, s'il en reste c'est à la suite d'un rajeunissement lié à une tectonique récente. La chaîne s'est formée entre 410 Ma et 310 Ma, on distingue un rifting, une ouverture océanique suivie d'une subduction, d'une collision et d'un effondrement. Lors de l'orogénèse hercynienne, il s'est produit deux glaciations : une au Dévonien et une au Carbonifère. La chaîne hercynienne se prolonge aux Appalaches.

La chaîne varisque résulte d'une collision entre Laurussia et Gondwana après subduction de l'océan Rheic. On distingue un front nord avec des bassins d'avant pays (Devon, nord de la France), deux sutures océaniques : rhéno-hercynienne, Galico-moldanubienne bordant une zone centrale Ibero-armoricaine et un front sud avec une virgation Cantabrique qui se prolonge par le Massif central, les Vosges, la Bohême ; ce front sud appartient au Gondwana,

il a été disloqué et démembré lors de la tectonique alpine.

La chaîne est détruite au permien ce qui est attesté par l'accumulation de grès rouges et l'intrusion de roches volcaniques acides. Les mécanismes de cette destruction sont l'érosion, l'effondrement gravitaire d'une croûte épaissie et surchauffée, un changement global de cinématique avec un déplacement dextre entre Gondwana et Laurussia.



Résumé par Gilbert Gisclard

### **Philae et l'épopée de la mission spatiale Rosetta - La vie ailleurs ?**

**Hervé Cottin**

*Hervé Cottin est professeur des universités à l'Université Paris Est Créteil où il enseigne la chimie et l'astronomie. Il effectue ses recherches au Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA). Ses travaux sont principalement consacrés à l'étude de l'origine et de l'évolution de la matière organique cométaire. Il cherche à comprendre dans quelle mesure les comètes auraient pu contribuer à l'apparition de la vie sur Terre.*



### **Qu'est-ce qu'une comète ?**

Une comète est un agrégat de matière qui s'est formé en même temps que les planètes (-4,5 Ga). Elle est formée de poussières de roches, métaux et molécules organiques de grande taille, de glace d'eau de méthane et de dioxyde de carbone.

À proximité du soleil les glaces subliment et produisent des gaz ionisés par le rayonnement solaire et des poussières sont éjectées, l'ensemble formant les deux queues de la comète. Quand la Terre passe dans une queue de comète, se forme une nuée d'étoiles filantes.

Il existe deux réservoirs de comètes : la ceinture de Kuiper dans le plan de l'écliptique (entre 30 et 100 UA) et le nuage d'Oort (au-delà de 1000 UA). Les orbites des comètes sont très allongées depuis leur lieu d'origine jusqu'au centre du système solaire.

**La comète Tchouri** (code =67P) possède une orbite dont la périhélie est à 1,2432 UA et l'aphélie à 5,6829 UA, avec une période de 6,44 ans.

### **A quoi ressemblent les comètes ?**

La première observation du noyau d'une comète, le 14 mars 1986, a été réalisée par la sonde européenne Giotto à 2000 km de distance de la comète de Halley (=1P). En 2004 la sonde américaine Wild2 (mission Deep space) collecte de grains de poussières de la queue de comète 81P. Tempel1 (mission Deep impact) est un impacteur de la comète 9P qui produit des poussières récoltées et analysées. Les résultats montrent des noyaux très sombres avec un albédo proche du charbon avec de nombreux cratères. Ces noyaux sont formés de matériaux très poreux (80% microporosité), c'est-à-dire des matériaux agrégés par une faible gravité.

### **Pourquoi les étudier ?**

Les comètes sont les archives du ciel et dans temps primitifs. Elles sont la source de l'eau et matière organique sur la Terre primitive.

### **Le projet ROSETTA**

Le choix de l'ESA et NASA est de rapporter un échantillon cométaire (CNSR 1986). La mission Rosetta (ESA) correspond à un atterrisseur avec laboratoire embarqué prévu pour se poser sur la comète Wirtanen en 1993. Des retards amènent la mission en 1996 à s'orienter vers la comète Tchouri plus petite. Le lancement a lieu le 2 mars 2004. En 2014, après un voyage de dix ans en hibernation, Rosetta est en rotation proche de la comète (sur le même orbite) pour voir la mise en place de l'activité de la comète à l'approche du soleil, puis pour permettre l'atterrissage de la sonde Philae.

*Cette mission très ambitieuse a un cout de 1,4 G€ soit 4 airbus ce qui ne représente que 3,5 € par européen (= 0,20 €/an entre 1996 et 2015 la durée de la mission).*

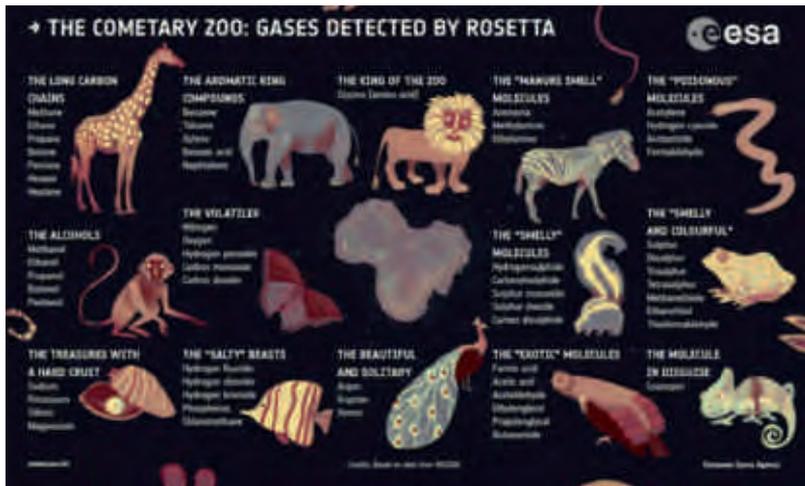
L'atterrissage de Philae a lieu de 2 novembre 2014. Son histoire est tragique car elle rebondit dans endroit sombre du fait de la faible gravité de Tchouri. Son activité en a été réduite et n'a permis qu'une instrumentation pendant 3 jours, temps de réserve de ses piles. La sonde Rosetta a pu mesurer l'activité de la comète pendant toute cette période avec un optimum d'activité en 2015. La mission a été interrompue en septembre 2016 par la chute de Rosetta projetée contre la comète, produisant des photos détaillées de la surface. Le choix a été de précipiter la sonde car la probabilité de réveiller cette sonde après un très long périple dans l'espace avant son retour vers le soleil était trop aléatoire.

### **La science de Rosetta**

– L'étude de l'eau de la comète Tchouri (67P) montre un rapport deutérium sur hydrogène (DHO/H<sub>2</sub>O) le plus élevé des rapports connus soit deux fois celui de l'eau océanique sur (3 contre 1,5.10<sup>-4</sup> sur Terre). Ce rapport montre que l'origine de la comète 67P est le nuage d'Oort.

– La matière organique, obtenue grâce à des poussières recueillies pendant le rebond de Philae, montre des composés variés de la chimie du carbone et eau : alcools, carbonyles, amines, nitriles, amides, isocyanates. Dans cette grande diversité moléculaire la sonde a détecté de la glycine, le plus simple des acides aminés (Elle constitue ce qui a été montré au public comme une grande « ménagerie moléculaire » - voir illustration).

– Par ailleurs Rosetta possède un instrument de capture de particules (Cosima) associant photographies et analyse ciblée par spectrométrie masse. Il a détecté des molécules à <sup>12</sup>C que l'on retrouve dans les IOM (insoluble Organic Matter) des météorites. Ce sont des sortes agrégats moléculaires de grand poids moléculaire (qq angströms) proches des kérogènes dans leur complexité moléculaire. Leur composition chimique (30 % C, 30 % O, 30 % H avec 5 % Si, 2 %Fe...) permet l'estimation dans leur composition globale de 50 % à 70 % de matière organique, le reste étant minéral. Si ces grains sont représentatifs du noyau, alors la comète



La « ménagerie moléculaire »

en grande partie organique. En effet le rapport en masse (glace/solide) étant estimé est à cinq, cela signifierait que la masse de la comète 67P serait composée d'un tiers de glace, un tiers de matière organique et un tiers de solide minéral.

Résumé par Armand Audinos

## La Terre - Genèse d'une planète habitée

François Guyot

*François Guyot, professeur au Muséum national d'histoire naturelle et à l'institut universitaire de France, est minéralogiste, spécialiste des interactions entre les règnes minéral et vivant. Au sein de l'institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie, il développe des recherches sur les signatures minérales des microorganismes hyperthermophiles des cheminées hydrothermales du plancher océanique.*



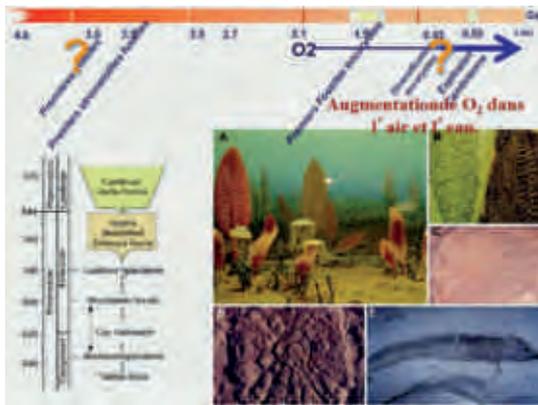
### Histoire de la vie et de la Terre

L'histoire de la vie est actuellement reconstituée à travers l'arbre phylogénétique du vivant fondé sur la phylogénie des ARN ribosomiques. On y construit une parenté et une origine commune de tous êtres vivants, LUCA correspondant à un « système nucléique » d'une soixantaine de gènes. La difficulté est de dater cette histoire car il n'existe pas de constante dans la vitesse de mutations des différents phylums : les seuls témoins datés sont les fossiles. Or très peu sont connus au-delà -1,5 Ga (*Acratarches* précambriens) ou -2,1 Ga (faune du Gabon - voir conférence de A. El Albani).

Les stromatolithes (-3,7 Ga) sont des microbialites, c'est-à-dire des constructions d'origine biologiques (reconstituées par principe d'actualisme) mais ne contiennent pas de matières organiques fossilisées, seulement une signature isotopique  $\delta^{13}\text{C}$  proche de celle des processus biologiques.

Plus récents les « BIFs » (-3,2 à 1,8 Ga) sont des roches produites en grande quantité par

photosynthèse anoxygène à partir du Fe II. Ces formes de vie existent encore actuellement en milieu aquatique (*Rhodobacter* SW2).



Quelques moments clés de l'histoire de la vie

## Co-évolution biogéochimique de la vie et de la Terre

### L'apport de l'eau, impacts et émergence de la vie

- La Terre originelle est réductrice et sans eau (composants essentiels :  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ) puis subit un apport oxydé ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ). C'est donc un déséquilibre redox qui est le moteur de la vie.
- L'accrétion de la géosphère terrestre a été très rapide entre 60 à 100 Ma. L'origine de l'eau sur Terre est identifiée par le rapport deutérium/hydrogène des océans incompatible avec celui des autres matériaux rocheux terrestres mais compatible avec ceux des chondrites carbonées ou des comètes dont le rapport D/H est très varié. L'apport de l'eau océanique est donc essentiellement exogène, issue des corps glacés du système solaire.
- La Terre possède déjà son eau liquide à -4,35 Ga. De plus la Terre conserve son eau contrairement à Mars ou Venus. Sur ces planètes, il y a la photolyse de l'eau en  $\text{H}_2$  qui s'échappe de la planète et en  $\text{O}_2$  qui réagit avec les composés réduits ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Seule la Terre, parmi ces trois planètes, possède une tectonique de plaques. L'eau sur Terre a peut-être été protégée par convection mantellique et de la serpentinitisation associée qui piège de l'eau dans les roches pendant une très longue période, puis plus tardivement par la photosynthèse qui piège  $\text{H}_2$  dans la matière organique.

### Le cycle du carbone

Le cycle du carbone est modifié par la tectonique des plaques qui piège les carbonates issus de l'altération des silicates par la subduction, ce qui participe à la chute de l'effet de serre terrestre. La vie elle-même crée un autre cycle du carbone en créant la biomasse. La signature isotopique de la biomasse ( $\delta^{13}\text{C}$ ) est négative par rapport à  $\text{CO}_2$  dissout océanique contrairement à celui des carbonates qui lui est positive : la différence entre carbonates et biomasse est de -25 ‰. Ceci forme la signature isotopique du vivant : seul le cycle de la biomasse avec la réduction du  $\text{CO}_2$  et l'oxydation de la matière organique crée actuellement cette signature. L'étude du  $\delta^{13}\text{C}$  de la biomasse des fossiles depuis 4 Ga montre que cette biomasse est constante depuis 4 Ga en biomasse totale !

### La succession possible des systèmes biologiques

- Le cycle possible primitif est lié à des fermentations comme dans les fumeurs hydrothermaux.
- La photosynthèse anoxygène ferro-oxydante est à l'origine des BIFs.

- La photosynthèse oxygénique qui produit de grande quantité de dioxygène et provoque l'ajout de masse à l'atmosphère qui double tous les 400 Ma !
- Cette photosynthèse oxygénique sera ensuite compensée par des mécanismes régulateurs qui maintiennent le taux d'O<sub>2</sub> constant depuis 1 Ga : en premier lieu la réduction continue du Fe<sup>2+</sup> issu des roches produites par les dorsales et ensuite par les hétérotrophes (bactéries puis multicellulaires) qui consomment le dioxygène atmosphérique.

### Les origines de la vie

- *LUCA est-il thermophile ou hyper-thermophile ?*

À la base de l'arbre, proche de LUCA quasiment toutes les cellules connues sont anoxiques : les Archées (-2,8 Ga) et les bactéries thermophiles (-3,5 Ga).

Le genre *Aquifex* semble plus proche de LUCA (c'est-à-dire avec une vitesse d'évolution plus lente que les eucaryotes depuis 3,5 Ga) est un organisme qui vit en milieu anoxique et hyperthermophile : *Aquifex* croît souvent près de volcans sous-marins ou de sources chaudes (85 à 95 °C).

Les systèmes hydrothermaux contiennent d'autres cellules qui miment des réactions métaboliques primordiales possibles (exemple des Archées hyperthermophiles du genre *Thermococcus*).

Cependant on peut imaginer que les conditions thermiques initiales sur Terre étaient probablement plus basses (environ 60 °C), d'où l'hypothèse d'une vie originelle plutôt formée de cellules thermophiles (cf. conférence de Purification Lopez-Garcia).

- *Quel était le système biologique originel ?*

Pour reconstituer ce système biologique originel, on utilise le principe de « *Chemiomimesis* » selon lequel le système biologique garde la mémoire du milieu chimique d'où il a émergé.

Or on retrouve dans tous les êtres vivants des protéines avec des centres Fe-S proches appartenant au métabolisme des cellules des sources chaudes ; le cytosol des cellules est riche en K et en P comme dans le métabolisme des cellules des sources chaudes continentales.

Cette biodiversité biochimique actuelle serait-elle issue d'une diversité de systèmes chimiques prébiotiques explorant différents environnements sur une Terre primitive ?

Résumé par Armand Audinos et David Boudeau



Les collègues auprès des exposants lors de la pause