

A L'ORIGINE DU VIVANT

Isabelle Biegala

Il existe des interactions étroites entre le climat terrestre et le vivant et ceci depuis les origines. En étudiant l'histoire de la vie sur Terre, on comprend que l'atmosphère l'a probablement créée et que le vivant n'a pas cessé de modifier cette atmosphère en réaction aux pressions de sélection issues des grandes transitions qu'a subie la Terre. Le vivant s'est adapté aux perturbations en se stabilisant grâce à la spécialisation et à l'organisation.

C'est dans une atmosphère terrestre très chaude et hautement réductrice, chargée en vapeur d'eau, méthane, ammonium et sulfure d'hydrogène que la production de matière organique a-biogénique s'est produite entre 4.5 et 4 milliards d'année, à une époque où la Terre était recouverte par l'océan. L'hydrolyse de ces molécules s'est faite grâce aux UV en permettant la production des premiers acides aminés et nucléiques, dont l'ATP, ainsi que les premiers lipides et carbohydrates. Ces molécules ont formé les ribozymes-peptides, ancêtres des ARNs, capables à la fois de stocker l'information et de catalyser des réactions chimiques au sein d'une double membrane de lipides aux étonnantes propriétés physiques d'auto-croissance et de divisions (I. Cheng, 2006).

Les actions destructrices et combinées des UV et de l'oxygène, issu de l'hydrolyse de l'eau, ont permis la sélection de proto-cellules équipées de molécules plus stables et plus spécialisées, telles que l'ADN et les protéines. Puis, avec un niveau d'organisation plus important, les microorganismes capables de se protéger ont été sélectionnés grâce à la production d'un agent antioxydant et antimutagène, la porphyrine. Cette molécule peut transporter l'oxygène et se protéger des UV en absorbant une partie de leur énergie et en la restituant dans la lumière visible. Ces formidables propriétés ont été mises à profit dans de nombreuses molécules telles que les cytochromes, impliqués dans la fermentation, la respiration et la fixation du CO₂. Les porphyrines entrent également dans la composition de la chlorophylle et de l'hémoglobine (L. Sagan, 1967).

Les recherches de ces dernières décennies ont permis de découvrir chez les Eubactéries, dont les cyanobactéries, et les Archaeobactéries de nombreuses voies métaboliques capables de fixer le CO₂ atmosphérique qu'elles soient phototrophiques, autotrophiques ou non (Hügler and Sievert, 2011; J. Raven, 2009). La plupart de ces « nouvelles » voies métaboliques ont été découvertes dans des environnements aujourd'hui considérés comme extrêmes, tels que les fluides hydrothermaux chauds ou froids, les zones anoxiques, méso et bathypélagiques et les sédiments profonds, qui sont probablement des réminiscences des niches écologiques du début de la vie sur Terre, témoignages des environnements originaux de la vie. La fixation du CO₂ serait donc apparue très tôt, avant la diversification du vivant.

C'est donc dans ces environnements que nous avons le plus de chance de retrouver les descendants directs de nos ancêtres communs (L. Sagan 1967 ; Spang et al. 2015).

La production a-biogénique de la matière organique a pris fin avec le refroidissement de l'atmosphère terrestre et l'apparition du vivant. Les pressions de sélection de ce nouveau climat ont permis à des eubactéries d'hydrolyser l'eau grâce à l'énergie lumineuse, pour produire des molécules d'ATP nécessaires à la fixation du CO₂ et rejeter dans l'atmosphère l'O₂ toxique. Ces cyanobactéries, en « inventant » la photosynthèse oxygénique, ont ainsi recréé au sein de la cellule les mécanismes originels présents dans la première atmosphère. Des preuves de l'existence de ces organismes ont été obtenues en Australie à partir de récifs fossilisés, non coralliens, appelés stromatolithes formés il y a 3.5 milliards d'années (Awramik et Sprinkle. 1999). Ces cyanobactéries étaient filamenteuses, tout comme les nombreuses *Oscillatoriales* actuelles, telles que *Lyngbia* et *Microcoleus* qui forment des mattes en piégeant les sédiments, les carbonates et les sels de fer dans leur mucus.

Pendant un milliard d'année les cyanobactéries se sont développées dans une atmosphère réduite et chaude, faiblement oxygénée, riche en CO₂ et en méthane. Puis, il y a 2.4 milliards d'années, la première grande transition chimique de l'atmosphère s'est produite en augmentant considérablement et durablement la concentration en O₂ et en formant la couche d'ozone troposphérique, atténuant ainsi l'impact des UV (Goldblatt et al. 2006).

Cette grande transition a eu de nombreuses conséquences sur le vivant et le climat. Pour échapper à cette atmosphère toxique et raréfiée en CO₂, certaines cyanobactéries ont réalisé une endosymbiose avec des unicellulaires flagellés et formé les chloroplastes des premières microalgues eucaryotes ; d'autres ont développé des mécanismes de concentration du CO₂ dans la cellule, afin d'augmenter le rendement photosynthétique.

En diminuant l'effet de serre, la Grande Oxygénation a provoqué un refroidissement progressif de l'atmosphère, qui a eu pour conséquence un changement climatique majeur, celui de la Grande Glaciation de la Terre. Les organismes de la surface ont soit subi des extinctions massives soit, comme certaines cyanobactéries, développé des mécanismes de dormance, sous la pression de sélection et grâce à de puissants antigels, en attendant des conditions plus favorables. La fraction du vivant qui n'a pas eu à s'adapter de façon majeure à ces bouleversements se trouvait dans les zones « refuges » que sont les points chauds et peu oxygénés des grands fonds océaniques.

De puissantes activités volcaniques ont finalement mis un terme à cette glaciation en dégazant du CO_2 et du méthane et reformant un effet de serre. La fonte des glaces en ravivant les sols a apporté d'importantes concentrations de nutriments dont le phosphate, élément limitant ultime de la productivité marine. Certaines cyanobactéries, dites diazotrophes, ont levé les limites en azote en fixant le diazote atmosphérique (N_2) sous forme d'ammonium directement assimilable par la plupart du vivant, et entraîné une véritable explosion de vie marine et terrestre telle qu'en témoigne la période Cambrienne d'il y a 530 millions d'années.

Depuis cette période, la Terre a subi cinq autres grandes transitions, où le climat s'est rapidement modifié suite aux changements soudains de la concentration en gaz à effet de serre. Le volcanisme en a souvent été l'origine, suivi d'augmentations spectaculaires de la biomasse et de la productivité du vivant pour se terminer en événements anoxiques majeurs, poursuivis par des périodes glaciaires, avec pour conséquence de grandes extinctions.

Les cyanobactéries ont montré d'incroyables capacités d'adaptation à toutes ces phases de transitions. Aujourd'hui, au travers des chloroplastes des plantes terrestres et marines ou des micro-algues procaryotes et eucaryotes, elles contrôlent les concentrations en oxygène dont dépendent le reste du vivant ainsi que notre climat. Elles sont à l'origine des 2 poumons de la planète.



Cyanobactérie filamenteuse *Microcoleus* (Mexico)
Source NASA : spacesscience.arc.nasa.gov/microbes/gallery

Les propriétés de diazotrophies et de symbiose de certaines cyanobactéries sont souvent mises à profit par les microalgues et les plantes aquatiques et terrestres pour en augmenter la productivité primaire. Ainsi la cyanobactérie *Richelia* endosymbiotique de la diatomée *Rhizosolenia* permet le développement d'efflorescence marines, et les cyanobactéries filamenteuses *Microcoleus* et *Lyngbia* développent soit des mucus riches en azote sur les pneumatophores des mangroves, soit vivent en association avec les thalles et racines des phanérogames marines.

LES ÉCOSYSTÈMES **MARINS** DANS LA RÉGULATION DU CLIMAT



FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL



INFORMATIONS ÉDITION

AUTEURS

Denis Allemand

Luc Beaufort

Grégory Beaugrand

Isabelle Biegala

Gilles Boeuf

Charles François Boudouresque

Chris Bowler

Janique Etienne

Catherine Gabrié

Jean Pierre Gattuso

Michel Kulbicki

Alexandre K. Magnan

Cyril Marchand

Franck Mazeas

Pierre Mollo

Claude Payri

Christine Pergent-Martini

Gérard Pergent

Serge Planes

Philippe Potin

Christian Sardet

Valérie Stiger-Pouvreau

Romain Troublé

Myriam Valero

Bruno Voituriez

ILLUSTRATRICE

Céline Bricard

Illustratrice, animatrice et enseignante en arts plastiques et arts appliqués, Céline BRICARD vit et travaille à Bagnolet (France). Ses dessins à la mine de plomb, à l'encre et au feutre mêlent le règne végétal et animal. Ses œuvres fourmillent de détails et de respirations, tout en liberté et en poésie. Sa vision d'un monde éphémère et en mouvement traduit une représentation onirique liant intimement les êtres, la nature et le temps.

<http://celine.bricard.free.fr>

REMERCIEMENTS

Tous les auteurs ont gracieusement contribué à cet ouvrage, avec implication et enthousiasme.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à : Denis Allemand, Luc Beaufort, Grégory Beaugrand, Isabelle Biegala, Gilles Boeuf, Charles François Boudouresque, Chris Bowler, Janique Etienne, Catherine Gabrié, Jean Pierre Gattuso, Michel Kulbicki, Alexandre K. Magnan, Cyril Marchand, Franck Mazeas, Pierre Mollo, Claude Payri, Christine Pergent-Martini, Gérard Pergent, Serge Planes, Philippe Potin, Christian Sardet, Valérie Stiger-Pouvreau, Romain Troublé, Myriam Valero et Bruno Voituriez. Le FFEM tient à remercier tout particulièrement : Christian Sardet pour ses précieux conseils et son magnifique ouvrage qui a été une source permanente d'inspiration ; Christine Pergent-Martini, membre du conseil scientifique et technique du FFEM, pour sa relecture attentive et ses contributions aux différents chapitres ; Denis Ody pour sa relecture critique de l'encadré sur les cétacés ; Myriam Valéro pour ses commentaires et sa contribution sur les macroalgues ; Jean-Pierre Gattuso, pour ses commentaires globaux très pertinents et son introduction au chapitre 3. Enfin, un remerciement chaleureux à l'artiste, Céline Bricard, pour ses aquarelles et encres délicates et colorées.

RÉFÉRENCE POUR CITATION

FFEM (2015). – Les écosystèmes marins dans la régulation du climat.

Fonds Français pour l'Environnement Mondial, Paris, 80 pages.

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

François-Xavier Duporge, secrétaire général du FFEM

COORDINATION ÉDITORIALE

Janique Etienne, chargée des projets Gestion du littoral et Haute mer au secrétariat du FFEM

Catherine Gabrié, Consultante en Environnement Marin et Littoral.

MISE EN PAGE

Coordination : Valérie Fakir, communication FFEM

Conception graphique et réalisation : Arc en ciel

Imprimé par : Pure Impression imprimeur certifié - FSC (FCBA-COC-000077) - Labels : Imprim'vert

Dépôt légal : Novembre 2015

