

de la faune sur une période de temps assez courte. Nous avons mis en évidence un changement important de structure des communautés à la transition entre l'Éocène et l'Oligocène, il y a environ 34 millions d'années. Ce changement reflète la crise climatique qui se produit à l'échelle du globe au tout début de l'Oligocène : dans le Quercy, le climat se refroidit et s'aridifie, et la forêt recule.

Les faunes anciennes de l'Éocène supérieur, avec de nombreuses espèces de moyenne et de grande taille, correspondent à des milieux forestiers et humides proches des forêts tropicales actuelles d'Afrique. Un léger décrochement observé dans la distribution des espèces vers 0,5 kilogramme témoignerait de la présence de zones ouvertes dans ces forêts. À partir du début de l'Oligocène, les espèces de grande taille sont moins nombreuses et les espèces de taille intermédiaire deviennent rares : les milieux sont plus arides et plus ouverts, et les paysages ressemblent aux savanes plus ou moins arborées de l'Est africain actuel. La réduction du nombre des espèces marque aussi un refroidissement, ou tout au moins une saisonnalité des températures, avec un hiver plus froid. Cette saisonnalité thermique, qui se superpose à une saisonnalité des pluies, laisse penser que, dès le début de l'Oligocène, le climat préfigurerait le climat méditerranéen actuel.

Cette détérioration climatique correspond à un événement paléogéographique important : l'Europe, jusqu'alors isolée vers l'Est par des bras

de mer, est mise en connexion avec l'Asie. Une vague d'immigration, connue sous le nom de Grande Coupure, se produit alors, bouleversant les faunes d'Europe occidentale. L'arrivée en Europe de nombreuses familles nouvelles est favorisée par le changement de milieu qui y est survenu.

Un laboratoire de l'Évolution

En 1977, lors du premier colloque de paléontologie consacré aux gisements des phosphorites du Quercy, la région a été qualifiée de «laboratoire naturel de l'Évolution». Cette appellation n'était pas usurpée : non seulement le Quercy est un exceptionnel observatoire de l'Évolution, mais il permet aussi de tester et de mettre au point de nouvelles méthodes d'analyse en paléontologie.

Les prospections continuent, et le temps est notre allié : dans les prochains siècles, l'érosion continuera de découvrir de nouvelles poches argileuses contenant de nouveaux fossiles. Des zones aujourd'hui boisées en cachent aussi de nombreuses. Les plus récentes découvertes ont étendu l'intervalle de temps connu par ces dépôts du Quercy sur une durée continue de près de 35 millions d'années, de l'Éocène inférieur (il y a 55 millions d'années) au Miocène inférieur (il y a 20 millions d'années), et de nouveaux gisements datés du Pliocène (entre 5 et 2 millions d'années) ont été identifiés. Dans le futur, on pourra suivre l'évolution de la faune du Quercy, donc de l'Europe de l'Ouest, sur toute la durée de l'ère tertiaire.

DES CAILLOUX DANS LES CHOSES SÛRES

DIDIER NORDON

**Des cailloux
dans les choses sûres**



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 70 F
Code 1897

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 104

Cécile MOURER-CHAUVIRÉ, Serge LEGENDRE et Bernard SIGÉ sont chercheurs au Laboratoire de paléontologie de l'Université Claude Bernard et du CNRS, à Lyon. Bernard MARANDAT est chercheur à l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier.

Nous remercions toutes les personnes qui ont participé aux fouilles ou qui les ont rendu possibles. La liste complète figure sur le site Web de *Pour la Science* (<http://www.pourlascience.com>).

International symposium on mammalian biostratigraphy and paleoecology of the European Paleogene, February 18th-21st 1987, édité par N. Schmidt-Kittler, Münchner geowissenschaftliche Abhandlungen (A), vol. 10, pp. 1-311, Mainz, 1987.

S. LEGENDRE, *Les communautés de mam-*

mifères du Paléogène (Éocène supérieur et Oligocène) d'Europe occidentale : structures, milieux et évolution, Münchner geowissenschaftliche Abhandlungen (A), vol. 16, pp. 1-110, 1989.

B. SIMON-COINÇON et J.-G. ASTRUC, *Les pièges karstiques en Quercy : rôle et signification dans l'évolution des paysages*, Bulletin de la Société géologique de France, vol. 162, n°3, pp. 595-605, 1991.

S. LEGENDRE et al., *Les Phosphorites du Quercy : 30 ans de recherche. Bilan et perspectives*, *Geobios*, mémoire spécial 20, pp. 331-345, 1997.

Tableaux de corrélations et synthèses, in *Actes du Congrès BiochroM'97*, édité par J.-P. Aguilar, S. Legendre et J. Michaux, Mémoires et Travaux de l'EPHE, Institut de Montpellier, vol. 21 pp. 769-805, 1997.



Les briques de la vie

MAX BERNSTEIN • SCOTT SANDFORD • LOUIS ALLAMANDOLA

Les premiers organismes vivants terrestres semblent s'être formés à partir de molécules organiques qui se sont elles-mêmes assemblées dans le cœur glacé des nuages interstellaires.

es comètes ont longtemps semblé de mauvais augure. En 400 avant notre ère, les astronomes chinois en avaient déjà recensé 29 sortes, dont beaucoup annonçaient des catastrophes. L'idée d'Aristote, selon laquelle les comètes étaient un avertissement des dieux, subsista pendant deux millénaires dans la civilisation occidentale. Cependant, cette crainte n'est pas complètement infondée : l'écrasement d'une météorite géante sur la Terre a probablement fait disparaître les dinosaures, et, en 1994, les astronomes ont assisté à la chute de la comète Shoemaker-Levy sur Jupiter.

Malgré leur funeste réputation, ces vastes débris spatiaux pourraient avoir apporté la vie sur une Terre jadis stérile : depuis le début des années 1960, des scientifiques de diverses disciplines étudient comment les comètes et d'autres vestiges de la formation du Système solaire auraient pu apporter des molécules de gaz et de l'eau sur notre planète, et comment ces composants ont constitué l'atmosphère et les océans qui rendirent la planète habitable. Des «astrochimistes» pensent aujourd'hui que des matières premières nécessaires à la vie proviennent aussi de l'espace. Certaines de ces molécules organiques (des molécules contenant des atomes de carbone) auraient spontanément formé des vésicules, où se seraient effectués les premiers mécanismes cellulaires. D'autres molécules auraient absorbé une partie du rayonnement solaire ultraviolet, protégeant les molécules moins résistantes et transformant la lumière en énergie chimique, utilisable par les premières cellules.

L'origine des origines

Il y a près de cinq milliards d'années, un nuage interstellaire, froid et sombre, s'est condensé en un disque de gaz et de poussières en rotation, qui a engendré le Système solaire. La Terre, elle, s'est constituée peu après le Soleil,

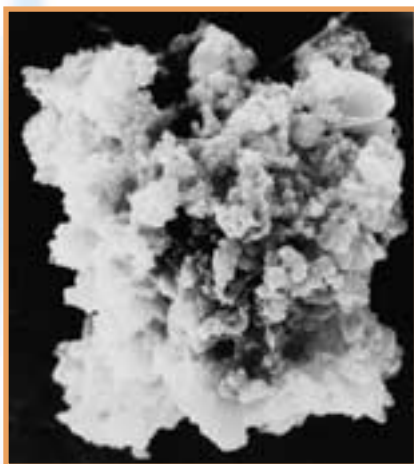
1. DES MOLÉCULES ORGANIQUES analogues à celles que l'on trouve dans les organismes vivants abondent dans les régions sombres des nuages interstellaires. Il y a plus de quatre milliards d'années, un tel nuage s'est effondré en un disque en rotation qui engendra le Soleil et les planètes. Quelques-unes des molécules fragiles ont échappé à la chaleur écrasante de la formation du Système solaire, à l'abri dans les comètes, au bord gelé du disque. Par la suite, les comètes et d'autres restes de nuages ont apporté ces molécules sur la Terre.

ASTÉROÏDES

COMÈTE

POUSSIÈRES

2. LES COMÈTES ET LES ASTÉROÏDES s'écrasaient fréquemment sur la Terre quand celle-ci s'est formée. Aujourd'hui encore, la Terre reçoit chaque jour des centaines de tonnes de poussières et de météorites venant de ces objets. Beaucoup de ces particules de poussière (*microphotographie ci-dessous*), la plupart d'une taille du millième de millimètre seulement, contiennent des molécules organiques fabriquées dans le nuage sombre qui a engendré le Système solaire. Les creux de la particule ci-dessous contenaient probablement de la glace, qui s'est évaporée quand la poussière s'est échappée de sa comète mère.



PARTICULE DE POUSSIÈRE

John P. Bradley MVA Inc.

il y a environ 4,5 milliards d'années. On a longtemps pensé qu'elle possédait très tôt l'eau et les ingrédients pour la vie, mais on soupçonne aujourd'hui qu'elle était, au contraire, chaude, sèche et stérile. Une myriade de débris spatiaux a bombardé notre jeune planète, créant des cataclysmes équivalents à l'explosion d'innombrables bombes atomiques. La Lune elle-même est peut-être un morceau de la Terre qui a été éjecté lors d'une collision avec une météorite de la taille de Mars. De tels impacts, courants jusqu'à il y a quatre milliards d'années, ont éradiqué tout balbutiement de vie qui aurait pu exister avant cette période.

Alors que l'étude des collisions météoritiques montre que la Terre est devenue habitable tardivement, on découvre que les premières traces de vie sont plus anciennes qu'on ne l'imaginait. Des microfossiles trouvés dans des roches anciennes d'Australie et d'Afrique du Sud montrent que la vie terrestre était présente il y a 3,5 milliards d'années. Mieux encore, on a découvert au Groenland des roches vieilles de 3,9 milliards d'années qui contiennent des formes de carbone (le noyau de l'atome contient six protons et un nombre variable de neutrons, qui définissent des isotopes) qui proviennent probablement d'organismes vivants. Ainsi, seulement 100 millions d'années environ après que la Terre est devenue habitable, les organismes vivants étaient suffisamment bien implantés pour que des traces de leur existence subsistent aujourd'hui. L'apparition de la vie sur la Terre fut si rapide que l'on suppose l'intervention de constituants extraterrestres.

Les premiers organismes unicellulaires de la planète résultent sans doute d'une série de réactions chimiques qui ont formé des molécules riches en carbone, tels les acides aminés. Dans

les conditions adéquates, les acides aminés se sont enchaînés, formant des

protéines, qui sont à la fois les briques et les ouvriers de la vie. Au début des années 1950, à l'Université de Chicago, Stanley Miller montra comment ces acides aminés auraient pu eux-mêmes se former, à partir de molécules plus simples. Il envoya des étincelles dans un ballon en verre rempli d'un mélange de gaz qui ressemblait à l'«atmosphère» primitive de la Terre. Puis, après quelques semaines, il analysa le contenu d'un second ballon relié au premier, initialement rempli d'eau : des molécules organiques, dont des acides aminés, étaient apparus.

Si le choix des réactifs retenus par S. Miller est aujourd'hui contesté, la théorie de la soupe primordiale, où les ingrédients de la vie sont engendrés dans un étang ou dans un océan tiède, à la surface de la Terre, conserve ses partisans. Plusieurs variantes ont été proposées. Par exemple, certains pensent que les réactions biogéniques ont plutôt eu lieu dans les fonds marins, où l'épais nuage de minéraux jaillissant de sources hydrothermales aurait engendré les précurseurs des molécules nécessaires à la vie. D'autres biologistes, de plus en plus nombreux, localisent plutôt la source de molécules dans l'espace.

L'idée était ancienne : en 1961, Juan Oro, de l'Université de Houston, émit l'hypothèse d'une contribution extraterrestre, et Sherwood Chang, du Centre Ames de la NASA, relança la théorie en 1979. Depuis 1990, à l'Institut de recherche de l'intelligence extraterrestre aux molécules organiques à l'origine de la vie (SETI, soit *Search for Extra-Terrestrial Intelligence*), Christopher Chyba, soutient que des petites comètes, des météorites et des particules de poussière interplanétaire ont apporté l'eau et les gaz atmosphériques à la Terre.

La constitution des océans reste débattue, mais les solides spatiaux y ont certainement contribué. On estime que des centaines de tonnes de poussières tombent chaque jour sur la Terre.

MÉTÉORITE

Ces particules minuscules – les plus grosses ont la taille d'un grain de sable – parsèment le Système solaire, formant des étoiles filantes quand elles pénètrent dans l'atmosphère. L'idée nouvelle est la suivante : non seulement ces solides auraient déposé sur la Terre l'eau et les gaz qui ont favorisé l'apparition de la vie, mais ils auraient apporté des molécules organiques analogues à celles que l'on voit aujourd'hui dans les systèmes vivants.

En effet, grâce à l'observation des comètes, on sait que ces visiteurs glacés abondent en composés organiques. En 1986, les caméras embarquées sur les sondes *Giotto* et *Véga* ont révélé que la surface de la comète de Halley comportait un matériau sombre qui ressemble au kérogène carboné de certaines météorites ; les spectromètres de masse ont décelé des traces de molécules riches en carbone. Plus récemment, l'observation depuis la Terre des chevelures et des queues des comètes Hyakutake et Hale-Bopp a révélé de nombreux composés organiques, tels le méthane et l'éthane. Plusieurs sondes spatiales exploreront d'autres comètes durant les 20 prochaines années (voir l'encadré de la page 75).

Lorsqu'une comète s'approche du Soleil, une part de sa matière est éjectée sous la forme de gaz et de poussières, dont une partie est ensuite attirée par la Terre. Des équipes de la NASA recueillent des particules cométaires dans la haute atmosphère, grâce à l'avion ER2, qui vole deux fois plus haut qu'un avion de ligne : à 20 kilomètres d'altitude, les poussières spatiales se collent à des plaques de plastique enduites d'huile, dans les collecteurs

3. ON REPRODUIT EN LABORATOIRE les conditions des régions froides des nuages interstellaires, telle la Nébuleuse de l'Aigle (en haut à droite). À l'intérieur d'une chambre métallique de la taille d'une boîte à chaussures (à droite), un réfrigérateur et une pompe engendrent un vide glacé analogue à celui de l'espace. Des molécules simples, libérées sous forme gazeuse par un injecteur en cuivre (1), gèlent sur un disque analogue au cœur de silicate d'un grain de glace spatial. Une lampe à ultraviolets éclaire la glace ainsi formée d'un rayonnement similaire à celui des étoiles (2). Une lumière infrarouge, également analogue à celle des étoiles, est ensuite projetée à travers la glace (3). La comparaison des spectres d'absorption infrarouge obtenus avec cette chambre et ceux obtenus par satellites révèle que la composition de la glace fabriquée en laboratoire est très similaire à celle de la glace des nuages interstellaires.



D'après Hester et Paul Scowen, Arizona State University et NASA

NÉBULEUSE DE L'AIGLE

