

Le Botox, un marché lucratif

Initialement réservée à quelques pathologies neurologiques, la toxine botulique a, depuis une dizaine d'années, fait irruption en médecine esthétique, devenant un phénomène sociétal... et économique.

Qui n'a pas déjà entendu que tel acteur, actrice, personnage public s'est « fait faire des injections de Botox » ? Combien de unes de magazines ont détaillé l'« avant/après », les « nouveaux visages », les « ratés » d'une modification faciale ou corporelle d'une personnalité – souvent une femme – dont la vie est mise en scène dans les médias ?

Injectées près des rides du visage, les toxines botuliques (types A et B) les estompent en relâchant les muscles qui les sous-tendent. Le développement d'un tel agent, présen-

tant une activité transitoire et réversible, s'est révélé très lucratif pour *Allergan* et les autres sociétés qui le distribuent. Les actes de chirurgie et de der-



matologie esthétiques s'étant banalisés depuis une quinzaine d'années, l'usage extramédical de toxine botulique est, sinon courant, du moins répandu dans les sociétés occidentales, qui valorisent la jeunesse, le corps et le bonheur individuel. Non plus réservée à une

clientèle riche et célèbre, l'injection de Botox est, pour certains, l'occasion de se faire plaisir : qui ne voudrait d'une biotoxine aux effets secondaires réels, mais limités (l'injection de Botox peut engendrer hématomes et migraines) et qui apporte un aspect rassurant ?

En 2009, le chiffre d'affaires du Botox s'est élevé à environ 1,28 milliard de dollars, ce qui représente pour *Allergan* quasiment le tiers de ses revenus. Pourtant, l'usage de la toxine botulique n'est pas sans risque. D'abord, on connaît encore mal les effets à long terme d'injections répétées. Surtout, par l'aspect transitoire de son effet paralysant, la toxine peut créer une addiction à la médecine esthétique, entraînant le patient dans une quête sans fin du visage parfait.

tique des injections au niveau de l'œsophage en cas de trouble moteur du tube digestif, du sphincter anal en traitement d'une fissure anale, ou à proximité de glandes hyperactives, ce qui réduit leurs sécrétions (transpiration, larmolement, salivation).

Chaque traitement par la toxine botulique étant transitoire – les neurones intoxiqués récupèrent leur activité au bout de quelques mois –, il doit être renouvelé dès la réapparition des troubles. C'est aussi le cas des injections de toxine botulique à visée esthétique, qui estompent temporairement les rides en relâchant les muscles du visage. Un domaine lui aussi en expansion (voir l'encadré ci-contre).

De multiples usages thérapeutiques

Enfin, les toxines botuliques sont des outils précieux en recherche. Par leurs effets sur les neurones, elles ont permis de disséquer les mécanismes de la libération des neurotransmetteurs. Ainsi, le rôle des protéines SNARE dans l'exocytose des vésicules synaptiques a été mis en évidence grâce aux toxines botuliques, dont elles sont les cibles.

La recherche médicale explore aussi de nouvelles pistes thérapeutiques. Le mécanisme d'entrée des toxines botuliques étant à présent assez bien connu, on envisage d'utiliser les toxines comme « vecteurs » de molécules à visée thérapeutique. L'idée est simple : la toxicité des toxines botuliques étant contenue dans leur chaîne légère, on pourrait remplacer cette dernière par une molécule thérapeutique (ADN, enzyme, peptide). En se liant à son récepteur sur la membrane neuronale, la chaîne lourde de la toxine insérerait alors spécifiquement une molécule thérapeutique dans les terminaisons nerveuses, où elle pourrait corriger des dysfonctionnements de certains neurones. Une application possible pourrait être la prise en charge de la douleur dans des fibres sensorielles, ou le traitement de maladies lysosomales – qui perturbent le recyclage des molécules dans les cellules, notamment les neurones.

« Les poisons peuvent être utilisés comme moyens de destruction de la vie ou comme agents pour le traitement du malade », écrivait en 1875 Claude Bernard, le père de la physiologie expérimentale, dans *La science expérimentale*. Les toxines botuliques en sont une démonstration. ■

provoque le relâchement du muscle en bloquant la libération de l'acétylcholine. Les muscles concernés sont en premier lieu des muscles squelettiques ou lisses.

Plusieurs spécialités médicales utilisent la toxine botulique, parmi lesquelles l'ophtalmologie, la neurologie, la dermatologie, la gastro-entérologie et la prise en charge de la douleur. En ophtalmologie, la première indication d'usage de la toxine botulique A est la correction des formes de strabisme,

CHAQUE TRAITEMENT À LA TOXINE BOTULIQUE

étant transitoire, il doit être renouvelé dès la réapparition des troubles.

la toxine s'étant révélée une alternative non invasive à la chirurgie. Le blépharospasme – des clignements spontanés et incontrôlables des paupières – a aussi pu être contrôlé par injection de toxine. D'autres dystonies bénéficient de l'activité inhibitrice de la toxine botulique A : la crampe de l'écrivain (contraction anormale des muscles de l'avant-bras lors de l'écriture), les dystonies cervicales (perturbation du tonus musculaire de la nuque), le spasme hémifacial. Le champ d'usage des toxines botuliques s'est même étendu au-delà des troubles des muscles squelettiques : on pra-

En kiosque le 29 février

Cerveau **&** Psycho

n° 50

Faites l'expérience de la psychologie
et des neurosciences avec la

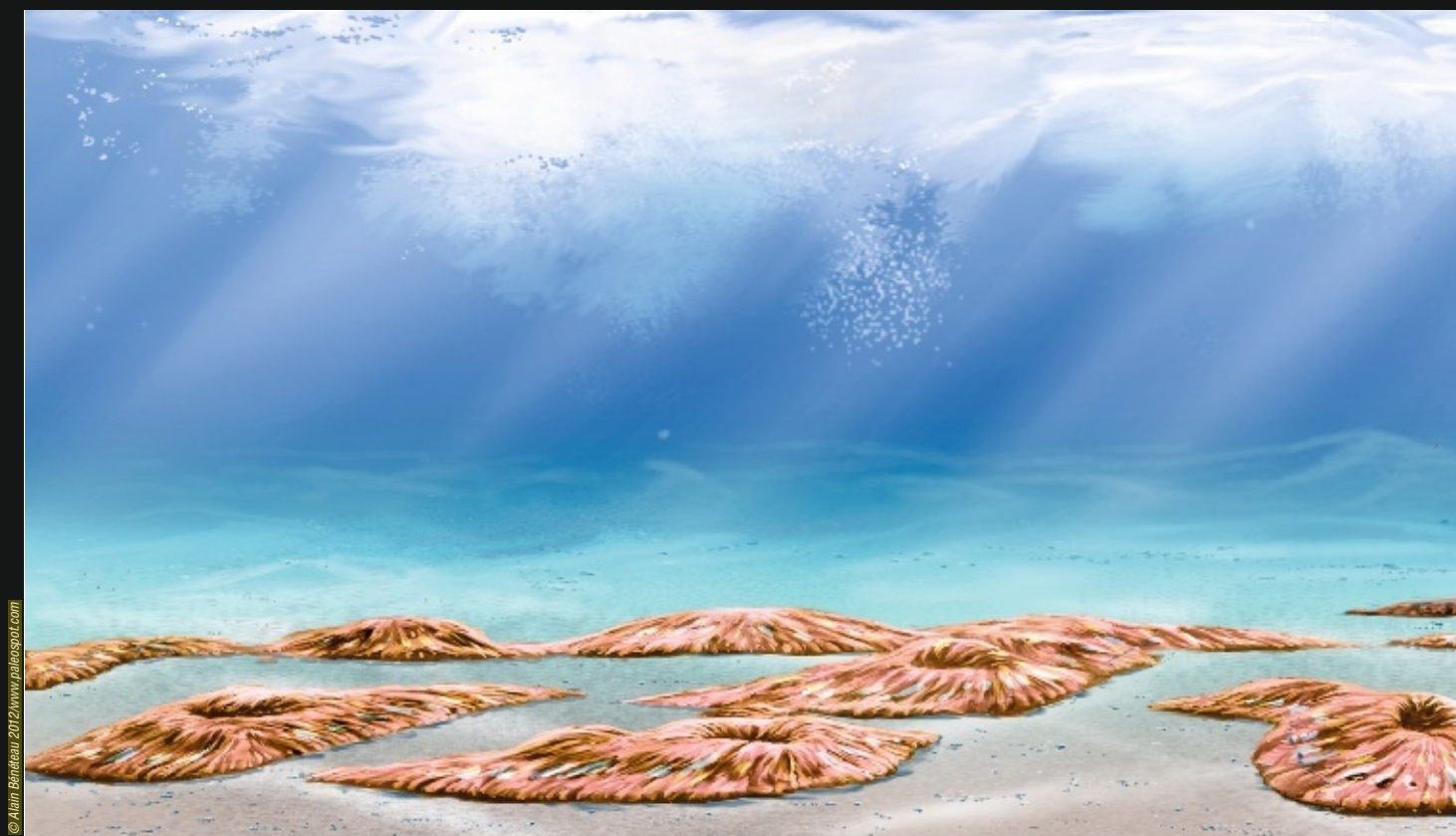
nouvelle formule

Encore plus de
Variété & Sobriété
Clarté & Rigueur
Informations & Illustrations

Le Gabon à l'aube de la vie

Pascal Bouton, Alain Préat, Denis Thiéblemont et Michel Ebang Obiang

Les géologues ont révélé dans le sous-sol du Gabon un environnement datant d'il y a deux milliards d'années. Riche en formes de vie primitive, il aurait accueilli les premiers organismes pluricellulaires.



© Alain Bénédau 2012 www.paleospot.com

En juillet 2010, des recherches menées dans le bassin de Franceville, au Sud-Est du Gabon, dans la forêt équatoriale du bassin du Congo, ont livré des résultats déconcertants. L'équipe d'Abderrazak El Albani, de l'Université de Poitiers, a mis au jour de possibles organismes pluricellulaires eucaryotes (c'est-à-dire dont les cellules ont un noyau) – des métazoaires –, datant de plus de deux milliards d'années (voir la figure 1 et l'encadré page 57).

Ces fossiles ont suscité un émoi chez les spécialistes de l'origine de la vie. Cette découverte rendrait caduque l'hypothèse communément admise jusqu'alors de l'« explosion cambrienne », intervenue il y a environ 600 millions d'années et au cours de laquelle les formes de vie complexe seraient apparues : les fossiles gabonais en question sont en effet antérieurs de plus d'un milliard d'années. Cette découverte a attiré notre attention sur d'autres formes intrigantes qui ont été identifiées dès 1966 dans cette même région.

La signification biologique de ces nouveaux fossiles reste à trancher par les paléontologues. Mais il revient aux géo-

L'ESSENTIEL

✓ Grâce au très bon état de préservation des couches sédimentaires du bassin de Franceville, au Sud-Est du Gabon, les géologues ont reconstitué le paysage tel qu'il était il y a deux milliards d'années.

✓ Différents types de milieux coexistaient : des platiers, des lagunes salées, des mers intérieures bordées de volcans en activité...

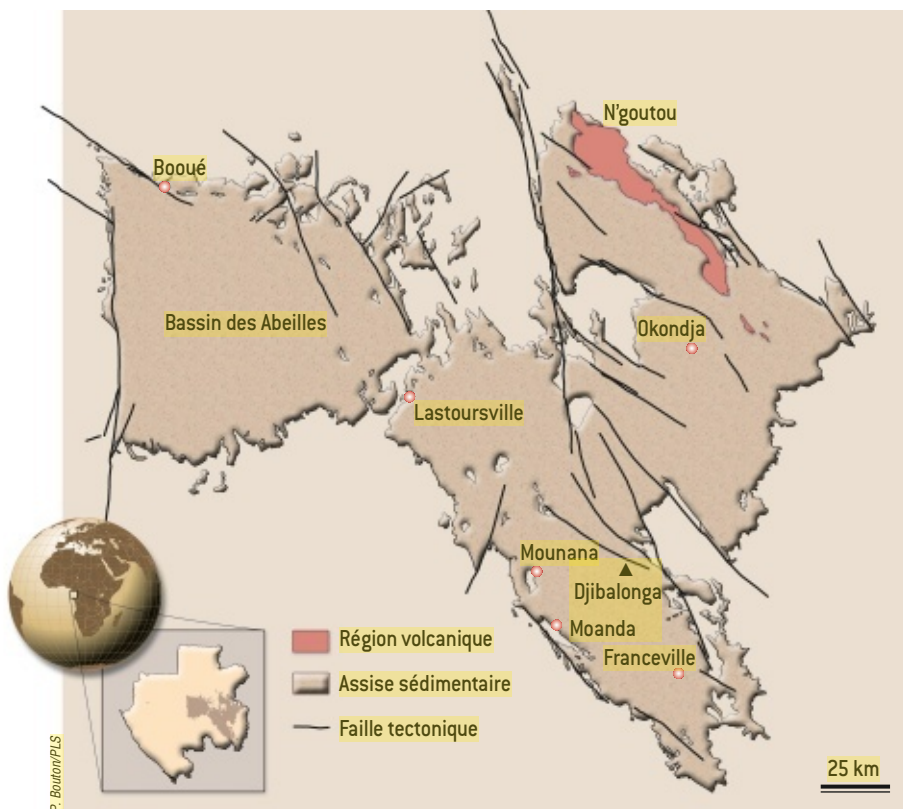
✓ Une biodiversité importante s'y développait, avec des formes de vie intrigantes qui remettent en cause les hypothèses sur l'apparition des premiers organismes complexes.

logues de décrire les milieux où ces organismes se seraient développés. C'est le travail auquel nous nous sommes attelés à l'occasion de la nouvelle cartographie géologique du pays, conduite de 2005 à 2010 par le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières, en France) pour l'État gabonais. Nous avons redécouvert les sous-sols de cette région équatoriale proche de la ville de Franceville, explorés depuis les années 1930 pour leurs nombreuses ressources minières.

Les sédiments déposés au Paléoproterozoïque, période du Précambrien comprise entre 1,6 et 2,5 milliards d'années, sont exceptionnellement bien préservés en raison de la faible activité tectonique qu'a connue la région depuis lors. C'est ce qui permet de reconstituer son aspect à cette époque. Nous y avons trouvé, sur une assez faible étendue (moins de 30 000 kilomètres carrés, l'équivalent d'environ quatre départements français), les traces d'un environnement complexe et cohérent qui n'est pas sans évoquer des paysages actuels : des volcans jouxtaient des lagunes et des mers peu profondes,



1. IL Y A DEUX MILLIARDS D'ANNÉES, la région de Franceville, au Gabon, regorgeait de lagunes et de mers peu profondes, sous un climat vraisemblablement chaud et aride. On y trouvait des hauts-fonds recouverts de stromatolites (à droite), structures minérales édifiées par des colonies de cyanobactéries. En 2008 ont été découverts des fossiles étonnants mesurant quelques centimètres. Ils correspondraient à des organismes marins pluricellulaires (à gauche et au centre) évoluant à plus grande profondeur que celle des platiers à stromatolites. Ces métazoaires seraient antérieurs de plus d'un milliard d'années aux formes de vie complexe connues jusqu'à présent...



2. LA FORMATION DU FRANCEVILLIEN, AU GABON. Elle occupe trois bassins sédimentaires datant du Paléoprotérozoïque [entre 1,6 et 2,5 milliards d'années] : le bassin des Abeilles, celui de Franceville et celui d'Okondja, bordé par l'important édifice volcanique de N'goutou.

lesquelles hébergeaient de nombreuses formes de vie, telles des colonies de bactéries et des algues unicellulaires. Mais avant de décrire ces milieux et leurs liens avec la vie ancienne, nous allons d'abord présenter le contexte dans lequel cette partie du Gabon a été étudiée, puis expliquer ses caractéristiques géologiques.

La région (voir la figure 2) a été décrite pour la première fois par l'explorateur français d'origine italienne Pierre Savorgnan de Brazza, fondateur de la future Brazzaville (actuelle capitale de la République du Congo), qui a ouvert la voie à la colonisation de l'Afrique centrale. Il reconnut les lieux entre 1876 et 1880, lors de sa remontée du fleuve Ogooué, à la recherche de la source du Congo. En 1881, il fonda un poste près du village de Masuku, qu'il renomma Franceville.

La connaissance géologique de la région s'est affinée au cours de prospections minières menées à partir des années 1930. Le nom de Francevillien a été donné en 1954 à ces terrains sédimentaires, dont la description se précisa grâce aux explorations menées par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) entre 1955

et 1966. Le sous-sol de la région de Franceville s'est révélé très riche en manganèse et uranium. Il connut une grande notoriété scientifique lorsque l'on découvrit (en 1972) que sa richesse en uranium était telle qu'elle avait déclenché une réaction nucléaire spontanée il y a deux milliards d'années (le réacteur nucléaire naturel d'Oklo).

Un bassin géologique très bien conservé

En dépit de leur excellente préservation, ces couches (voir la figure 3) n'ont pas suscité l'intérêt paléontologique porté à d'autres terrains datant de la même période, tels que la formation de Duck Creek, dans l'Ouest de l'Australie, vieille de 1,8 milliard d'années, ou celle de Gunflint (1,9 milliard d'années) qui affleure sur la côte Nord-Ouest du lac Supérieur, en Amérique du Nord. Dans cette dernière formation, plus facile d'accès, des microfossiles ont été décrits dès 1953, puis présentés en 1965 à la communauté scientifique. On y a décelé en particulier des micro-organismes sphériques, interprétés comme des eucaryotes unicellulaires.

Ce n'est que récemment qu'une analyse plus fine des roches a révélé, dans les couches géologiques du Francevillien, la trace de nombreuses formes de vie différenciées (voir l'encadré page 57). Notamment, nous avons mis au jour plus d'une centaine de gisements à stromatolithes (littéralement « tapis de pierre »), des constructions d'origine biologique. Ces structures en couches sont édifiées par des filaments enchevêtrés de cyanobactéries photosynthétiques à partir de fines particules minérales accumulées par piégeage ; ces formes de vie primitive sont probablement apparues il y a 3,5 milliards d'années (ce sont les plus anciennes formes de vie connues). On trouve également en abondance des microsphères, de tailles comprises entre 30 et 40 micromètres, possibles traces fossilisées d'algues unicellulaires à chlorophylle, dont les plus anciens spécimens connus datent de 3,3 milliards d'années.

Plus largement, les sédiments se caractérisent par leur teneur élevée en carbone organique, qui peut atteindre 20 pour cent dans certaines couches (une roche contenant plus de deux pour cent de matière organique peut être considérée comme riche) : c'est un autre témoignage de la prolifération de la vie en ces lieux il y a deux milliards d'années.

Notre campagne cartographique a dépassé les seuls environs de Franceville, où se sont concentrées la plupart des études antérieures. Nous avons été confrontés aux difficiles conditions de l'exploration géologique en forêt équatoriale. Si les moyens de localisation se sont aujourd'hui améliorés – le GPS a remplacé la navigation à la boussole –, les accès par pistes ou rivières navigables restent peu abondants.

Le couvert forestier très dense ne permet pas de repérer les affleurements rocheux à distance, ni depuis le sol ni par vue aérienne ou satellitaire. La recherche des roches nécessite de longues marches en forêt, souvent les pieds dans l'eau. Les roches étant altérées sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, leur observation et leur échantillonnage s'effectuent le long des ruisseaux et marécages. Dans les régions peu accidentées, il faut parfois plusieurs jours de marche pour collecter quelques blocs rocheux dignes d'intérêt.

Examinons plus en détail la géologie de la formation du Francevillien. Ce terme regroupe des couches sédimentaires et volcaniques qui datent du Paléoprotérozoïque. La formation occupe trois bassins

sédimentaires localisés dans les parties centrale et orientale du Gabon : les bassins des Abeilles, de Franceville et d'Okondja (voir la figure 2). Elle repose sur un socle granitique plus ancien, qui date de 2,7 à 3,1 milliards d'années (Archéen).

La plupart des terrains francevilliens sont horizontaux : les couches sédimentaires, préservées des grands phénomènes tectoniques depuis leur dépôt, sont peu déformées. Après son dépôt, un sédiment est transformé en roches sous l'effet de la température et de la pression (compaction). Dans le cas du Francevillien, ces modifications ont été faibles, si bien que l'état de conservation est exceptionnel pour des roches si anciennes. Cela explique qu'elles aient pu préserver les fossiles découverts par l'équipe de A. El Albani, ainsi que de nombreuses autres formes de vie primitive.

Des fossés qui se sont comblés de sédiments

Le Francevillien se présente comme la superposition de trois grandes entités géologiques, déposées successivement (voir la figure 4), probablement entre 2,1 et 2,0 milliards d'années. L'unité la plus ancienne, nommée Francevillien A, est composée de sables et graviers de quartz (transformés en grès), provenant de l'érosion du socle archéen sur lequel elle repose. Ces dépôts ont été charriés par de puissants cours d'eau. On observe à leur sommet une influence marine de plus en plus nette avec une alternance de sables fins et d'argiles, dépôt caractéristique du flux et reflux de la marée.

Après le dépôt de cette première unité, un événement tectonique majeur s'est produit. L'extension de la croûte continentale a provoqué, par endroits, l'effondrement du terrain, ce qui a créé des fossés étroits d'une cinquantaine de kilomètres, encadrés par des domaines plus stables. Dans le même temps, une quantité importante de sédiments s'est déposée dans ces fossés d'effondrement : des sables et des argiles noires riches en matière organique qui définissent le Francevillien B. Ces dernières ont été transformées par enfouissement en schistes noirs, les ampélites. Ce sont ces ampélites, dont l'épaisseur atteint par endroits 2500 mètres, qui ont livré les formes fossiles décrites par l'équipe d'A. El Albani. La sédimentation a également été alimentée par des débris produits par les volcans voisins du complexe de N'goutou,

situé au Nord d'Okondja. Le poids croissant de ces sédiments a contribué à l'affaissement des fossés. Ce lent enfoncement, la « subsidence », est à l'origine des deux principaux fossés d'effondrement que sont les bassins de Franceville et d'Okondja. Ces fossés tectoniques (ou grabens) avaient l'aspect du fossé rhénan ou des fossés de Limagne, en Auvergne.

Durant cette période, en dehors des bassins d'effondrement de Franceville et d'Okondja, dans les domaines stables tel le bassin des Abeilles, la sédimentation a été beaucoup moins importante : elle se limite à une couche d'épaisseur comprise entre 50 à 100 mètres, constituée d'ampélites, de jaspes noirs (roches à grain fin constituées essentiellement de silice) et parfois de dolomies (roches carbonatées riches en magnésium). Ces dépôts se sont généralisés à l'ensemble de la région lorsque la subsidence à l'origine des fossés de Franceville et d'Okondja s'est affaiblie. Dans ces bassins, le Francevillien B est alors couronné d'un niveau sédimentaire composé de dolomies et de jaspes, nommé Francevillien C. L'ensemble du Francevillien B et du Francevillien C constitue la deuxième grande entité géologique du Francevillien.

Au-dessus de cette assise, on retrouve des dépôts constitués principalement de grès et de pélites (roches finement détritiques et argileuses), qui forment le Francevillien D, puis le Francevillien E. La datation isotopique des premières couches

LES AUTEURS

Pascal BOUTON, géologue et créateur de l'entreprise *Oolite*, est spécialisé en cartographie géologique et en sédimentologie.

Alain PRÉAT est professeur à l'Université libre de Bruxelles où il dirige l'Unité de Sédimentologie et géodynamique des bassins.

Denis THIÉBLEMONT, géologue et géochimiste au BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) à Orléans, a dirigé le projet de cartographie géologique du BRGM au Gabon.

Michel EBANG OBIANG est ingénieur géologue à la Direction des mines et de la géologie du ministère des Mines du Gabon, à Libreville.



3. UNE FALAISE DE GRÈS FLUVIAILES, près de Moanda. Ces roches appartiennent au Francevillien A, la couche de sédiments la plus ancienne de la région. Des affleurements naturels de cette qualité, non masqués par la végétation, sont exceptionnels en milieu équatorial.