

duction du plancher océanique sous l'Est de l'Australie. Lorsque cette dernière se détacha du Gondwana, elle passa au-dessus de la plaque froide en subduction, qui aspira la plaque australienne vers le bas. Le continent remonta lorsqu'il poursuivit sa migration vers l'Est en s'écartant de la plaque. Nous avons résolu l'énigme du mouvement de l'Australie durant le Crétacé, et nous avons, à l'aide d'un autre modèle, confirmé que l'Australie s'était bien déplacée vers le Nord en direction de l'Indonésie après le Crétacé, et qu'elle s'est affaissée d'environ 180 mètres. D'après ce modèle, l'Indonésie est aujourd'hui aspirée vers les profondeurs plus que toute autre région du monde, parce qu'elle se situe à l'intersection d'énormes systèmes de subduction dans les océans Pacifique et Indien. À mesure que l'Indonésie s'enfonce, elle entraîne l'Australie avec elle. L'Indonésie est un vaste continent submergé, dont seuls les pics montagneux les plus élevés émergent.

L'Indonésie et l'Afrique sont dans des situations opposées : l'Indonésie est tirée vers le bas, tandis que l'Afrique est repoussée vers le haut. Ces mouvements proviennent de modifications qui se produisent dans le manteau depuis quelques centaines de millions d'années et qui sont liés à l'existence passée du Gondwana. L'immense bande de faible gravité découverte il y a une trentaine d'années résulte de la subduction (qui se poursuit) des plaques tectoniques de la vaste zone qui entourait le continent originel. Au centre du Gondwana se trouvait l'Afrique du Sud. Cette région n'a pas subi le refroidissement lié aux plaques qui plongeaient dans le manteau, car elle en était trop éloignée. Ce phénomène expliquerait pourquoi le superpanache chaud remonte aujourd'hui des profondeurs du manteau à cet endroit.

En conclusion, les mouvements du manteau sculptent la surface de la pla-

nète de différentes façons. Ils contribuent au mouvement horizontal des plaques tectoniques, mais ils provoquent également le soulèvement ou l'affaissement des continents. On a découvert que l'écoulement dans le manteau profond se poursuit très longtemps après le mouvement horizontal des plaques tectoniques. Les positions d'anciennes lisières de plaques exercent encore, des millions d'années après leurs déplacements, un effet sur la façon dont la surface est sculptée.

La convection dans le manteau et les mouvements des plaques tectoniques sont sans cesse mieux décrits. Lorsque la convection du manteau change, le champ gravitationnel se modifie, et nous tentons de suivre ces changements. La détection des variations temporelles du champ gravitationnel de la Terre fait partie d'une mission spatiale germano-américaine nommée GRACE, dont le lancement est prévu en juin. Deux vaisseaux en orbite vont cartographier les variations du champ de gravitation terrestre tous les 15 jours, et nous espérons en déduire les lents mouvements verticaux associés à la convection dans le manteau. Un autre projet, nommé USArray devrait nous fournir bientôt des images sismiques de haute résolution : 400 sismographes itinérants fourniront des images de l'intérieur du manteau, sur les premiers milliers de kilomètres sous les États-Unis, et avec une résolution de 80 kilomètres.

À mesure que ces projets donneront des images et des informations précises sur le manteau, et que les ordinateurs disponibles seront de plus en plus puissants, nous comprendrons de mieux en mieux la dynamique de l'intérieur de la Terre. D'ores et déjà, en considérant la plus vaste région de la planète, c'est-à-dire le manteau, comme un gros morceau de roche qui a sa propre histoire, les géologues ont élu-

Michael GURNIS est géophysicien à l'Institut de technologie de Californie.

M. GURNIS et al, *Dynamics of Cretaceous Vertical Motion of Australia and the Australian-Antarctic Discordance*, in *Science*, vol. 279, p. 1499, 1998.

G. DAVIES, *Dynamics Earth : Plates, Plumes and Mantle Convection*. Cambridge university press, 2000.

M. GURNIS et al, *Constraining Mantle Density Structure Using Geological Evidence of Surface Uplift Rates : the Case of the African Superplume*, in *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol.1, N° 1999GC000035, 2000.

Site web du groupe de recherche de M. GURNIS : [www.gps.caltech.edu/~gurnis/geodynamics.html](http://www.gps.caltech.edu/~gurnis/geodynamics.html).

cidé l'origine de certains bouleversements géologiques qui modèlent la surface de la Terre.

# Une histoire de lézards

**JONATHAN LOSOS**

*Sur quelques îles des Caraïbes, l'évolution a répété plusieurs fois la même histoire.*

**D**ans les forêts de Cuba, de Haïti, de la République dominicaine, de Porto-Rico et de la Jamaïque, dont l'ensemble forme les Grandes Antilles, les anoles, des petits lézards du genre *Anolis*, sont omniprésents : courts ou longs, à reflets bleus, bruns, verts ou gris, trapus ou minces, bons ou piètres sauteurs, effrontés ou prudents, on les trouve à la cime des arbres, sur les troncs, dans les feuilles mortes, jusque sur les barrières, dans les fleurs... L'incroyable diversité de ces lézards fait d'eux un objet d'étude fascinant. Cette infinité de formes et d'habitats est peut-être la clé d'une énigme biologique : pourquoi l'évolution prend-elle une direction plutôt qu'une autre ?

Tout visiteur de ces îles constate que les espèces des anoles n'ont pas le même habitat. Par exemple, une espèce n'est présente que dans l'herbe, une autre, seulement dans les buissons, une troisième, à la base des troncs d'arbres. Ces trois espèces n'ont pas la même morphologie. Le lézard des herbes est élancé, avec une longue queue, celui des buissons est mince, mais avec des pattes épaisses, et le lézard des arbres est trapu avec de longues pattes.

## Il était plusieurs fois...

Toutefois, le caractère exceptionnel des anoles ne tient ni à la coexistence d'espèces morphologiquement distinctes, ni à leur habitat, car les pinsons des îles Galapagos, chers à Darwin, et les lémuriers de Madagascar sont d'autres animaux qui se sont adaptés à différentes niches écologiques disponibles. La caractéristique de ces lézards tient plutôt à la présence, sur chacune des îles, des mêmes types de lézards adaptés à un habitat particulier. L'espèce qui vit sur les buissons de Porto Rico est identique et se comporte de la même façon que celle qui occupe le même type d'habitat sur chacune des autres îles. Sur les quatre îles, on trouve une espèce de lézards qui colonise la base des arbres, une espèce de lézards arboricoles et une espèce géante habituée à la canopée, c'est-à-dire la cime des arbres. Par ailleurs, les lézards inféodés à l'herbe vivent sur trois des îles, et les lézards inféodés aux troncs, dont le corps est plus plat et la queue plus courte que chez les lézards de la base des arbres, sur deux des îles.

Les zoologistes connaissent d'autres espèces qui vivent dans des niches écologiques similaires et dans différentes parties du monde : le chat marsupial et le loup marsupial d'Australie



*Anolis cybotes*

*Anolis pulchellus*

Roberto Osti



*Anolis garmani*

*Anolis allisoni*

*Anolis distichus*

*Anolis valencienni*

**1. LES ANOLES DES ÎLES CARAÏBES** forment un groupe varié. Environ **110** espèces habitent dans les Grandes Antilles : chacune occupe sa propre niche écologique, de la canopée avec ses lézards géants jusqu'aux herbes qui abritent l'anole à longue queue.

sont, morphologiquement et écologiquement, proches de leurs homologues félins et canins des autres continents. En revanche, l'existence de communautés composées du même assortiment de spécialistes écologiques est sans équivalent.

L'existence de telles communautés indique qu'un «élément» a guidé l'évolution des lézards pour qu'elle suive en plusieurs endroits la même voie : un processus déterministe a imposé l'évolution pour qu'elle se reproduise plusieurs fois, identique à elle-même. Nous avons testé cette idée, et particulièrement les trois hypothèses sur lesquelles elle est fondée : les lézards spécialisés ont-ils eu une évolution indépendante sur chaque île ? Si oui, quels sont leurs ancêtres ? Les lézards sont-ils adaptés à leurs niches écologiques ? Des processus écologiques et évolutifs analogues existent-ils sur chacune des îles ? Au cours des 20 dernières années, la panoplie des outils mis à la disposition des biologistes de l'évolution s'est accrue : ainsi, par le biais de séquençages de certaines fractions d'ADN, de collectes de fossiles et d'observations sur le terrain, nous avons répondu à ces questions et, aujourd'hui, l'histoire des anoles des Grandes Antilles est mieux connue.

## De l'ADN, des arbres et des fossiles

Plusieurs hypothèses expliquent la présence d'espèces analogues sur des îles différentes (voir la figure 3). Une espèce ancienne s'est peut-être adaptée à une niche écologique particulière sur une île, puis se serait propagée, transportée par les flots ou par un ouragan, et aurait ainsi colonisé d'autres îles. Ou bien, cet ancêtre spécialisé aurait évolué à une époque où les îles étaient reliées, comme ont pu l'être certaines des îles Caraïbes : après la séparation des îles, les populations de lézards, alors isolées, seraient devenues des espèces distinctes, mais auraient conservé les caractères de leurs ancêtres. Dans ces deux histoires, une seule spécialisation s'est produite dans chaque niche. Toutefois, chaque espèce spécialiste d'un habitat a pu apparaître indépendamment, ou de façon convergente, sur chacune des îles des Grandes Antilles.

Pour découvrir quelle est la bonne option, nous avons examiné l'arbre

phylogénétique des anoles des Caraïbes, établi après avoir comparé certaines séquences d'ADN chez les différentes espèces. Dans l'hypothèse d'une évolution unique, les spécialistes analogues présents sur les différentes îles seraient étroitement apparentés. Dans le cas de plusieurs évolutions indépendantes et convergentes ayant eu lieu sur les différentes îles, des spécialistes analogues ne seraient pas étroitement apparentés : sur une même île, une espèce spécialisée aurait davantage de liens de parenté avec les autres types de lézards de cette île (quelle que soit leur niche écologique) qu'avec des utilisateurs de niches analogues sur d'autres îles. Par exemple, un lézard des buissons de la Jamaïque aurait plus de points communs génétiques avec des lézards jamaïcains de la canopée ou de la base des arbres qu'il n'en aurait avec un lézard des buissons de Cuba.

Malgré quelques controverses, les biologistes s'accordent à dire que deux espèces sont d'autant plus proches que leurs ADN ont plus d'analogies. Par exemple, l'ancêtre commun des hommes et des chimpanzés, dont des génomes se ressemblent beaucoup, est beaucoup moins vieux que l'ancêtre commun des hommes et des babouins, dont les ADN présentent moins d'analogies.

Ainsi, des gènes de plus de 50 espèces d'anolés ont été séquencés. Les résultats sont sans équi-

voque : les spécialistes d'un habitat sur une île ne sont pas étroitement apparentés aux autres spécialistes du même habitat sur les autres îles. Ainsi, les espèces spécialistes sont apparues indépendamment sur chaque île, et des communautés analogues se sont développées indépendamment sur les différentes îles.

L'analyse des fossiles apporte souvent des preuves de ce résultat, mais, à l'exception des spécimens relativement récents (quelques milliers d'années seulement), les fossiles d'anolés sont très rares : il en existe peut-être une dizaine, tous inclus dans de l'ambre. Ces lézards se sont probablement englués dans la résine suintant des arbres, lesquels ont fini par tomber sur le sol et par s'y fossiliser. Bien que la plupart des fossiles pris dans l'ambre soient commercialisés et qu'ils ne soient plus accessibles aux évolutionnistes, nous avons trouvé deux spécimens sur Hispaniola (la réunion d'Haïti et de la République dominicaine), qui datent du miocène, soit il y a environ 20 millions d'années. Ils ressemblent beaucoup aux

