

L'étude du développement d'espèces actuelles a aussi récemment fourni une piste pour comprendre comment les serpents ont perdu leurs membres. En 2016, Evgeny Kvon, du laboratoire national Lawrence, à Berkeley, et ses collègues ont identifié un « interrupteur » génétique du développement des membres chez le serpent et la souris. Les chercheurs ont inséré un fragment de gène de serpent dans le génome d'une souris de laboratoire et produit ainsi un animal de science-fiction : une « souris serpentine » dotée d'un corps normal, mais de membres réduits.

Le fragment de gène en question est un segment d'ADN connu comme la séquence régulatrice ZRS. Celle-ci, lorsqu'elle est active chez la souris, joue un rôle critique dans la formation des membres postérieurs. Une seule mutation de ce fragment suffit pour causer une anomalie des membres. En raison de son importance pour la survie, la séquence ZRS est restée quasiment inchangée tout au long de l'évolution des tétrapodes, mais s'avère très variable chez les serpents.

Les variants de ZRS découverts chez les serpents correspondent à la diversité observable de la forme de leurs membres. Les serpents modernes les plus proches des formes anciennes, tels les pythons et les boas, ont toujours une séquence ZRS propice au développement de membres, mais plus courte que celle d'autres vertébrés membrés. Ces deux types de serpents constrictors sont dotés de rudimentaires pattes postérieures ressemblant à des ergots. En revanche, les serpents modernes les plus éloignés des formes anciennes, tel le serpent des blés, ont perdu l'intégralité de la séquence ZRS et n'ont strictement plus aucun os de membre.

La découverte de variants génétiques correspondant aux variations de la forme des membres donne un nouvel éclairage sur les serpents fossiles. *Najash* a conservé sa ceinture pelvienne, son fémur, son tibia tronqué et sa fibula mais, à l'instar de *Pachyrhachis*, il n'a aucun ossement d'orteil. Ces deux genres révèlent que pendant la transition des lézards anciens vers les serpents, les gènes régulateurs des membres ont été modifiés tout en restant fonctionnels chez certains serpents ancestraux. Pour sa part, le genre *Dinilysia* n'avait plus aucun os de membre ni ceinture pelvienne. Il constitue donc l'un des premiers cas de perte complète de la séquence amplificatrice des membres au cours de l'évolution des serpents.

Au Crétacé supérieur, alors que s'écrivait le dernier chapitre de l'histoire des dinosaures, les serpents ont subi des changements importants de leur plan d'organisation et peut-être une évolution rapide de leur génome. Nous ne faisons que commencer à sonder les bases

génétiques des caractères visibles dans le registre fossile. Le genre *Haasiophis* n'avait par exemple pas de ceinture pelvienne, mais présentait un fémur complet, un tibia et un péroné bien développés ainsi que les os de la cheville et du pied. On ne trouve aucun équivalent chez les serpents modernes, mais la présence d'*Haasiophis* dans les archives fossiles suggère que plusieurs séquences similaires à ZRS régulaient la formation des membres dans le passé ancien.

UN CHAÎNON MANQUANT ?

Des indices sur l'origine des serpents continuent d'apparaître. En 2015, une équipe menée par David Martill, de l'université de Portsmouth, en Angleterre, a annoncé avoir étudié un serpent quadrupède qui, il y a 120 millions d'années, vivait dans ce qui allait devenir le Brésil. *Tetrapodophis amplexus* était doté de quatre membres complets, munis de doigts et d'orteils, qui lui auraient servi de moyen d'accrochage pendant l'accouplement. Bien que très court, ce serpent possédait plus de 200 vertèbres. Son long tronc et sa courte queue suggèrent qu'il était fouisseur, ce qui va dans le sens de l'hypothèse d'une origine terrestre des serpents. Étant donné son ancienneté, son écologie et l'état de ses membres, ce spécimen semble avoir tous les caractères des serpents de transition que cherchent les paléontologues.

En 2016, toutefois, lors du congrès de la Société de paléontologie des vertébrés à Salt Lake City, certains chercheurs ont remis en cause la description du fossile faite par ses découvreurs. Pour eux, *Tetrapodophis* ne serait pas un serpent, mais plutôt un lézard marin. Il est donc susceptible de relancer le débat sur l'origine, marine ou terrestre des serpents.

Outre *Tetrapodophis*, les chercheurs explorent plusieurs énigmes non résolues de l'évolution des serpents. Nous souhaiterions par exemple déterminer si les serpents sont d'abord apparus sur les continents septentrionaux ou méridionaux et si leurs premières espèces furent diurnes ou nocturnes. Nous aimerions aussi savoir comment l'évolution des serpents les a dotés de mâchoires assez grandes pour avaler des proies plus larges que leur tête et comment certains sont devenus venimeux.

Les réponses ne rendront que plus intéressante une histoire évolutive déjà passionnante ! Les cultures populaires et les religions abondent de légendes expliquant la perte des membres du serpent. Le serpent de la Bible, par exemple, aurait été forcé par Dieu à ramper pour le punir d'avoir poussé Adam et Ève à manger le fruit défendu. Toutefois, la sélection naturelle n'a en réalité aucun objectif. Ses innovations ne répondent pas à un dessein : elles ne sont que le résultat des interactions sans fin des animaux et de leur environnement. ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Palci et al., **The morphology of the inner ear of squamate reptiles and its bearing on the origin of snakes**, *Royal Society Open Science*, vol. 4, 170685, 2017.

E. Kvon et al., **Progressive loss of function in a limb enhancer during snake evolution**, *Cell*, vol. 167, pp. 633-642, 2016.

J. Head et P. D. Polly, **Evolution of the snake body form reveals homoplasy in amniote Hox Gene function**, *Nature*, vol. 520, pp. 86-89, 2015.

D. Martill et al., **A four-legged snake from the early Cretaceous of Gondwana**, *Science*, vol. 349, pp. 416-419, 2015.

H. Yi et M. Norell, **The burrowing origin of modern snakes**, *Science Advances*, vol. 1, article e1500743, 2015.

A. Albino et M. Caldwell, **Hábitos de vida de la serpiente cretácica *Dinilysia patagonica* Woodward, Ameghiniana**, vol. 40, pp. 407-414, 2003.

Au XVIII^e siècle, tandis que des professeurs expliquaient le mouvement des planètes autour du Soleil, comme sur cette gravure d'une peinture d'époque du Britannique Joseph Wright of Derby, des savants s'interrogeaient sur un cas particulier fictif de ce mouvement : la chute d'un corps ponctuel sur son centre d'attraction, lui aussi ponctuel.



L'ESSENTIEL

> En mathématiques et en physique, il existe des points singuliers qui posent des problèmes à la théorie.

> Au XVIII^e siècle, les mathématiciens D'Alembert et Euler ont rencontré une telle singularité lors de l'étude de la chute d'un corps ponctuel, mais n'ont pas ou mal perçu sa nature exceptionnelle.

> Ils proposèrent chacun une solution fondée sur des arguments peu rationnels.

> Il fallut plus d'un siècle pour que des savants se convainquent de l'inutilité d'une telle recherche : en cette singularité, la théorie atteint ses limites...

L'AUTEUR



JACQUES GAPAILLARD
professeur honoraire
à l'université de Nantes
où il a enseigné
les mathématiques
et l'histoire de l'astronomie

Le trou noir des Lumières

Au XVIII^e siècle, d'illustres savants se sont trouvés confrontés à une singularité mathématique. Sans soupçonner qu'elle constituait un sérieux obstacle théorique, ils n'hésitèrent pas à passer outre de façon *a priori* plausible ou, au contraire, carrément extravagante.

En astrophysique, un trou noir est une région si dense de l'espace-temps que rien ne s'en échappe, pas même la lumière. Ces objets célestes si particuliers présentent des singularités de l'espace-temps : des points ou des régions que la théorie mathématique de la gravitation – la relativité générale – ne sait pas décrire. Des singularités existent dans nombre de champs mathématiques. On en rencontre notamment dans l'étude des courbes et des surfaces, ou dans celle des fonctions d'une variable complexe, ou encore des équations différentielles. Aujourd'hui, les scientifiques savent que ces points sont en général hors du domaine de validité de leur théorie. Mais cela n'a pas toujours été le cas, et les premières confrontations à des singularités ont même conduit à d'étranges solutions issues de raisonnements peu rationnels. C'est ainsi qu'au XVIII^e siècle, des mathématiciens aussi reconnus que Jean Le Rond D'Alembert et Leonhard Euler

ont rencontré une singularité dans un problème très simple de mécanique théorique classique – qui ressemble à celui d'un trou noir ponctuel dans un espace de dimension 1 – et n'ont pas bien pris la mesure de la difficulté qui lui était liée...

UNE DÉLICATE QUESTION

Le problème en question traitait de la chute d'un corps ponctuel sur un autre. En mécanique théorique classique, dite aussi newtonienne ou rationnelle, il est commode et habituel de considérer la fiction d'un point matériel, c'est-à-dire d'un point géométrique doté d'une masse. D'après la loi de Newton de la gravitation, un tel point matériel, situé en un point fixe O de l'espace, dit centre d'attraction, exerce sur un autre point matériel P, à la distance r de O, une force d'attraction d'intensité proportionnelle à $1/r^2$. Du moins est-ce le cas aussi longtemps que $r \neq 0$. Mais si r vient à s'annuler, l'attraction exercée sur P n'est plus définie et, pour elle, O est le siège d'une singularité.