

> Reconstruire l'histoire évolutive des tortues des Galápagos est une entreprise très délicate : certaines espèces sont éteintes et de nombreuses tortues ont été déplacées d'une île à l'autre, autrefois par des boucaniers, récemment sous des prétextes de conservation. Mais l'approche moléculaire a des avantages ; on peut rechercher l'ADN ancien sur les squelettes des espèces éteintes et identifier ainsi relativement facilement les animaux déplacés et leurs descendants. Depuis une vingtaine d'années, Adalgisa Caccone, de l'université Yale, aux États-Unis, s'est lancée dans cette aventure et, peu à peu, les travaux de son équipe ont révélé l'origine des tortues géantes des Galápagos.

UNE SŒUR SUR LE CONTINENT

Ces tortues forment un groupe monophylétique du genre *Chelonoidis* : elles ont un même ancêtre commun et représentent à elles seules tous les descendants de cet ancêtre. Or il existe trois autres espèces de tortues du genre *Chelonoidis* sur le continent sud-américain : *C. denticulatus*, *C. carbonarius* et *C. chilensis*. En comparant leurs séquences d'ADN avec celles des tortues des Galápagos, les biologistes ont montré que, sans conteste, l'espèce *C. chilensis* est le groupe frère de celui des tortues de l'archipel, et que leur ancêtre commun le plus récent a vécu il y a 3,2 millions d'années.

Les tortues des Galápagos ont commencé à se diversifier il y a environ 1,74 million d'années. Trois groupes distincts ont ainsi divergé il y a environ 1,3 million d'années : un groupe centre-sud-ouest, rassemblant les espèces des îles Isabela, Rabida, Pinzón, Fernandina, Floreana et de l'ouest de Santa Cruz ; un groupe nord-est, constitué des espèces de Pinta, San Cristóbal, Santa Fé, Española et de l'est de Santa Cruz, et un groupe nord-ouest comportant les espèces de Santiago et du nord d'Isabela.

Au sein de ces trois clades, les diversifications se sont produites pendant la seconde moitié du Pléistocène, respectivement il y a 1,28, 0,82 et 0,4 million d'années. On distingue en tout quinze espèces (dont celles éteintes) – généralement une par île, avec cependant deux exceptions : Isabela présente plusieurs espèces endémiques associées à ses différents volcans, et Santa Cruz deux espèces, dont une décrite récemment, en 2015.

Si l'histoire évolutive des tortues des Galápagos s'est ainsi éclaircie ces dernières années, il restait à comprendre comment ces diversifications se sont produites et, surtout, comment ces tortues

UN ARCHIPEL VOLCANIQUE MOUVANT

Situées sur la plaque tectonique de Nazca, les îles des Galápagos résultent du fonctionnement d'un point chaud – un endroit où la montée d'un panache de magma se traduit par une activité volcanique. Ce dernier se trouve non loin de la jonction triple, dite des Galápagos, entre les plaques Pacifique, de Cocos et de Nazca (auxquelles s'ajoutent les microplaques des Galápagos et nord-Galápagos), ce qui crée une situation géologique complexe.

La plaque de Nazca se déplace vers l'est à une vitesse de près de 4 centimètres par an par rapport au point chaud et plonge sous le continent sud-américain. Au fur et à mesure qu'elle avance sur le point chaud, celui-ci y fait croître des îles. Les îles orientales de l'archipel sont donc les plus âgées. À l'est, San Cristóbal date de 3,2 millions d'années (Ma) ; à l'ouest, Isabela a moins de 0,7 Ma.

En se fondant sur les changements du niveau de la mer et sur l'érosion, des géologues ont aussi montré que l'archipel était différent dans le passé. Ainsi, il y a 3 Ma, San Cristóbal et Española étaient reliées – de même que Santa Cruz et Floreana il y a 2 Ma. Et il y a 1 Ma, Floreana, Santa Cruz, Santiago et Pinzón constituaient un seul bloc... ce qui simplifiait le déplacement des tortues terrestres.

géantes – et terrestres – étaient arrivées sur l'archipel. Leur ancêtre savait-il nager ? La réponse est venue... d'Afrique.

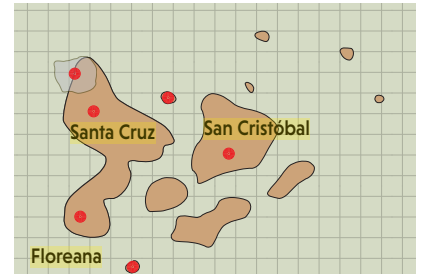
Le 14 décembre 2004, on observait une tortue géante terrestre sortant de l'eau à la pointe de Kimbiji, en Tanzanie, au sud de Zanzibar. Une étude rapide révéla qu'elle était originaire d'Aldabra, une île des Seychelles, au nord de Madagascar, à 800 kilomètres de là. Seule explication : le courant sud-équatorial, qui coule d'est en ouest à une vitesse de 1 à 3 nœuds, l'avait portée. La preuve ? Ses pattes antérieures et la base de sa carapace étaient couvertes d'anatifes, des animaux exclusivement marins qui s'accrochent aux corps flottants ou animés. Connaissant leur vitesse de croissance, on estime que la tortue est restée dans l'eau pendant 6 à 7 semaines. Nourrie convenablement, elle s'est remise de son voyage en trois mois.

Difficile à croire, mais les tortues terrestres peuvent donc flotter ; de fait, leurs poumons sont hauts dans la carapace et leur long cou peut faire office de tuba. Les

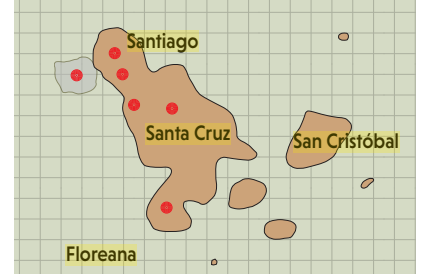
3 millions d'années



2 millions d'années



1 million d'années



Aujourd'hui





tortues sont des animaux à métabolisme bas, capables de jeûner longtemps; plus elles sont grandes, plus leurs réserves de graisse sont importantes, et plus leur jeûne peut être long. De plus, en brûlant leur graisse, elles produisent de l'eau, ce qui compense la déshydratation. C'est donc probablement par ce moyen que les premières tortues sont arrivées aux Galápagos, distantes d'environ 1000 kilomètres du continent – portées par le courant de Humboldt, qui remonte le long de la côte ouest de l'Amérique du Sud et s'incurve vers le large à la hauteur du Pérou pour former le courant sud-équatorial.

PAS SI SOLITAIRE, GEORGE?

Vraisemblablement, la première colonisation a eu lieu sur San Cristóbal, l'île la plus ancienne et la plus proche du continent. Pour reconstituer la suite de l'histoire, il faut réfléchir non pas avec la géographie actuelle de l'archipel, mais avec les projections proposées par les géologues (voir l'encadré page ci-contre).

Il y a un million d'années, les îles centrales de Santa Cruz, Floreana et Pinzón n'en formaient qu'une. Plus tard, lors de l'élévation du niveau de la mer, la population des tortues de l'unique île originelle s'est trouvée scindée en trois; ainsi, ce ne sont pas les tortues qui ont migré, mais l'environnement qui a changé et séparé ces groupes, lesquels ont ensuite évolué indépendamment. On nomme vicariance ce phénomène. Ainsi, la diversification des tortues de l'archipel s'est faite de deux manières, par vicariance et par migration.

L'analyse moléculaire menée par l'équipe d'Adalgisa Caccone a eu des effets collatéraux positifs. En effet, la tortue endémique de Floreana (*Chelonoidis*

elephantopus) est aujourd'hui disparue. Or trente-cinq tortues vivant sur les pentes du volcan Wolf, dans le nord de l'île Isabela, présentent un ADN mitochondrial et des marqueurs nucléaires identiques à ceux des animaux éteints de Floreana. Ce sont donc des descendants de l'espèce éteinte, sans doute le résultat de transports de tortues réalisés il y a deux siècles par les boucaniers. Les parentés génétiques sont si fortes qu'un programme de restauration de l'espèce disparue est envisagé. Il en est de même avec l'espèce endémique de l'île Pinta, *C. abingdonii*. Longtemps, on a considéré que George le solitaire, mort il y a cinq ans, en était le dernier représentant. Or huit individus apparentés ont été trouvés sur le volcan Wolf.

Si une tortue a pu arriver aux Galápagos, d'autres se sont-elles installées ailleurs de façon similaire? Très probablement, car on connaît deux lignées analogues dans l'océan Indien.

Sur l'archipel des Mascareignes, formé par le point chaud de La Réunion et dont les îles principales sont La Réunion, Maurice et Rodrigues, une diversification rapide de tortues géantes à partir d'un ancêtre commun a donné cinq espèces du genre *Cylindraspis*, toutes disparues. Et sur l'archipel des Seychelles et les îles proches, même si l'analyse moléculaire a montré que tous les spécimens anciens appartenaient à une seule espèce (du genre *Aldabrachelys*), ils présentent une grande diversité de traits: la colonisation a sans doute été trop récente pour qu'il y ait spéciation. Les premières tortues auraient posé la patte sur l'île d'Aldabra. D'où venaient-elles? Mystère... Une chose est sûre: elles venaient de la mer et étaient déjà géantes. ■

Dans l'archipel, la forme de la carapace varie selon les espèces, allant du dôme (ici *Chelonoidis elephantopus*, endémique de l'île Floreana, à gauche) au dos en selle (à droite).

BIBLIOGRAPHIE

J. M. Miller et al., **Identification of genetically important individuals of the rediscovered Floreana Galapagos giant tortoise (*Chelonoidis elephantopus*) provide founders for species restoration program**, *Scientific Reports*, vol. 7, article 11471, 2017.

N. Poulakakis et al., **Unravelling the peculiarities of island life : vicariance, dispersal and the diversification of the extinct and extant giant Galapagos tortoises**, *Molecular Ecology*, vol. 21, pp. 160-173, 2012.

N. Poulakakis et al., **Historical DNA analysis reveals living descendants of an extinct species of Galapagos tortoise**, *PNAS*, vol. 105, pp. 15464-15469, 2008.