

élément était nécessaire pour déclencher ce processus : la démographie. Plus un groupe de chasseurs-cueilleurs était grand, meilleures étaient les chances qu'un membre du groupe ait une idée novatrice. En outre, les individus d'un groupe important côtoyant fréquemment des voisins avaient plus de chances d'apprendre une innovation que ceux appartenant à de petits groupes isolés.

Pour tester ces idées, M. Thomas et ses collègues ont modélisé l'impact de la démographie sur l'effet cliquet. À l'aide de données génétiques provenant d'Européens modernes, ils ont estimé la taille des populations humaines en Europe au début du Paléolithique supérieur, époque où la créativité semble être apparue dans cette région, et ont calculé la densité de population. Puis ils ont étudié les populations africaines au cours du temps, simulant leur croissance et leurs migrations. Leur modèle montre que les populations africaines ont atteint la même densité que les premiers Européens du Paléolithique supérieur il y a environ 101 000 ans, juste avant que l'innovation ne se manifeste dans les régions subsahariennes selon les

témoignages archéologiques. Le modèle montre aussi qu'il existait alors de vastes réseaux sociaux.

L'apparition de grandes populations connectées a permis aux innovations de se répandre, telle cette recette d'arme de jet à base de lamelles retouchées en pierre, mise au point par *Homo sapiens* il y a environ 71 000 ans sur le site de Pinnacle Point et transmise à d'autres groupes : chauffer la silicrète à une température particulière pour en faciliter la taille, transformer le matériau en lames de quelques centimètres de long et fixer celles-ci sur une hampe en bois ou en os à l'aide d'une colle « maison ».

Un demi-millénaire après la création de *La Joconde*, nous nous émerveillons du génie de son auteur – un génie construit sur les innombrables idées et inventions de toute une lignée d'artistes remontant au Paléolithique. Et encore maintenant, des artistes portent un regard nouveau sur cette œuvre et en font émerger de nouvelles idées. La chaîne humaine de l'invention est solide. Et dans notre monde toujours plus connecté, le talent pour la création est plus que jamais vivace. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Vanhaeren *et al.*, Thinking strings : additional evidence for personal ornament use in the Middle Stone Age of Blombos Cave, South Africa, *J. of Hum. Evol.*, dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2013.02.001, 2013.

K. Brown *et al.*, An early and enduring advanced technology originating 71 000 years ago in South Africa, *Nature*, vol. 491, pp. 590-593, 2012.

D. Falk, Hominin paleoneurology : where are we now ?, *Progress in Brain Research*, vol. 195, pp. 255-272, 2012.

F. d'Errico *et al.*, Early evidence of San material culture represented by organic artifacts from Border Cave, South Africa, *PNAS*, vol. 109, pp. 13214-13219, 2012.

L. Wadley *et al.*, Middle Stone Age bedding construction and settlement patterns at Sibudu, South Africa, *Science*, vol. 334, pp. 1388-1391, 2011.

MATHIEU VIDARD
LA TÊTE AU CARRÉ
 DU LUNDI AU VENDREDI DE 14H À 15H

DONNEZ VOS OREILLES À LA SCIENCE

Sciences dures, du vivant ou humaines, Mathieu Vidard s'intéresse à toutes les observations et les expérimentations scientifiques avec écolisme et pédagogie. Et chacun comprend mieux le monde qui l'entoure.

france inter LA VOIX EST LIBRE
 franceinter.fr

Dans le monde secret des cœlacanthes

Hugo Dutel, Marc Herbin, Laurent Ballesta et Gaël Clément

Espèce menacée vivant dans les profondeurs marines, le cœlacanthe est un poisson apparenté aux vertébrés terrestres et encore mal connu. Une équipe de plongeurs a réussi à l'observer dans son milieu naturel.



Il y a trois quarts de siècle, on découvrait avec stupéfaction un cœlacanthe vivant, alors que ce genre de poisson était censé avoir disparu depuis 70 millions d'années... Or la morphologie générale de l'animal mis au jour était très proche de celle de ses formes fossiles les plus récentes. Cette stabilité évolutive paraissait d'autant plus étonnante que l'on considérait alors le cœlacanthe comme à l'origine des tétrapodes, c'est-à-dire des vertébrés munis de quatre pattes se terminant par des doigts.

Aujourd'hui, les relations de parenté de *Latimeria chalumnae*, le cœlacanthe actuel, ont été précisées, et on ne le considère plus comme le plus proche parent des tétrapodes. Les paléontologues le placent plutôt dans un groupe réunissant les cœlacanthes, les dipneustes (des poissons à poumons) et les tétrapodes. Nous allons décrire ici la biologie de *Latimeria chalumnae* et sa place dans l'évolution, connaissances auxquelles nous avons contribué en l'étudiant par imagerie et en réalisant les premières plongées d'observation naturaliste en scaphandre du cœlacanthe dans son milieu de vie.

En 1938, un pêcheur sud-africain remonte dans ses filets un poisson inconnu. Il est signalé à Marjorie Courtenay-Latimer (1907-2004), la conservatrice du Musée d'East London, qui soupçonne qu'il s'agit d'un cœlacanthe. C'est l'ichtyologue James Brierley Smith qui décrit la nouvelle espèce et la nomme *Latimeria chalumnae* en l'honneur de miss Latimer. Depuis, ce poisson n'a cessé de passionner les scientifiques et le public. Les médias ont amplifié cet intérêt en l'affublant de surnoms à sensation tels que « fossile vivant », « survivant du Crétacé », « plus vieux poisson du monde »...

Le cœlacanthe, poisson à épines creuses

Smith avait su reconnaître un représentant du groupe des cœlacanthes, créé en 1839 par le paléontologue américano-suisse Louis Agassiz en référence aux rayons creux qui composent les nageoires des espèces fossiles qu'il étudiait : le grec *koilos* signifie « creux » tandis que *akantha* veut

dire « épine ». Avant sa description, les paléontologues pensaient que les cœlacanthes s'étaient éteints à la fin du Crétacé (entre 145 et 66 millions d'années) en même temps que les dinosaures non aviens, de sorte qu'un cœlacanthe vivant constituait une immense surprise ; d'autant que, dans les années 1930, les paléontologues désignaient le cœlacanthe comme le plus proche parent actuel des tétrapodes.

La place cruciale de *Latimeria* dans l'évolution et sa forme apparemment identique à celle des cœlacanthes du Crétacé semblaient donner un aperçu sur le passé. Dès lors, son étude poussée promettait aux scientifiques de mieux comprendre la biologie des poissons à nageoires charnues, les « sarcoptérygiens ichtyens » ; ces proches cousins des tétrapodes ne sont représentés aujourd'hui que par les dipneustes et les cœlacanthes.

Si ces attentes sont aujourd'hui relativisées, il n'en reste pas moins que l'étude des cœlacanthes apporte d'importantes informations sur les changements évolutifs de certains complexes anatomiques



1. LE CŒLACANTHE, tel un sous-marin flottant dans les espaces sombres des profondeurs marines, attend placidement la nuit avant de s'activer... tranquillement.

(tels que le crâne, les nageoires paires pédonculées, les poumons) ayant conduit à l'émergence des tétrapodes, il y a environ 370 millions d'années.

Après la découverte de 1938, il fallut attendre 1952 pour qu'un autre spécimen de coelacanth soit pêché, dans les eaux comoriennes cette fois. Dès lors, les captures se sont multipliées et ont enrichi les collections des muséums. Sous l'impulsion des directeurs successifs du Laboratoire d'anatomie comparée Jacques Millot et Jean Antony, le Muséum national d'histoire naturelle à Paris a constitué la plus importante collection de coelacanth du monde : elle comporte 15 spécimens entiers et plus de 300 pièces anatomiques issues de 36 spécimens différents. Grâce à cette exceptionnelle collection, les chercheurs du Muséum des années 1970 ont pu pousser très loin l'étude anatomique du coelacanth, ce qui s'est traduit par l'élaboration d'une monographie en trois volumes qui fait aujourd'hui référence sur le sujet.

Les coelacanth ont une très longue histoire évolutive, puisque leurs premiers

représentants ont été retrouvés dans des sédiments datés du début du Dévonien (entre 419 et 359 millions d'années), tandis que les plus récents fossiles de coelacanth datent de 70 millions d'années, donc de la fin du Crétacé. Au cours du temps, les coelacanth se sont fortement diversifiés, adoptant des morphologies, des tailles (de 0,3 à 6 mètres) et des environnements de vie variés. Plus d'une centaine d'espèces de coelacanth fossiles ont été décrites. Contrairement au genre actuel, strictement marin, un grand nombre de ces espèces semblent avoir vécu dans des eaux peu profondes douces ou saumâtres de lacs, de fleuves, d'estuaires, etc.

Vivant et non fossile

La diversité morphologique et écologique passée des coelacanth invalide donc l'idée que *Latimeria* serait une sorte de « fossile vivant ». La forme apparemment si peu variable des coelacanth s'explique par le fait que les attributs anatomiques qui cristallisent l'attention ont peu changé au

L'ESSENTIEL

■ Il existe deux espèces actuelles de coelacanth, alors que l'on a longtemps cru éteints ces animaux proches des vertébrés terrestres.

■ Leur anatomie est bien connue, mais pas leur biologie, leur écologie et leur comportement.

■ Des plongeurs équipés de scaphandres autonomes élaborés ont réussi à observer des coelacanth dans leur milieu de vie.

■ Cette avancée ouvre la voie à l'étude approfondie de ces animaux.

© Laurent Ballesta, Andromède océanologie



2. DEUX ESPÈCES DE CŒLACANTHES sont connues. La première vit dans le canal du Mozambique et en Afrique du Sud ; l'autre a été découverte fortuitement en Indonésie. Toutes deux aiment la discrétion des profondeurs (au-delà de 100 mètres).

cours des millions d'années. Fondée par l'entomologiste allemand Willi Hennig dans les années 1950, la systématique phylogénétique consiste à se représenter les organismes comme des mosaïques de caractères anatomiques relativement indépendants les uns des autres. En pratique, on peut considérer que les traits d'un organisme évoluent à des rythmes différents. Par conséquent, un même organisme porte à la fois des caractères ancestraux et des caractères dérivés, c'est-à-dire fortement modifiés au cours de l'histoire évolutive du groupe. Si certains caractères anatomiques n'ont presque pas changé depuis des millions d'années, d'autres ont pu connaître des modifications importantes.

La mosaïque de caractères du coelacanth rend singulier cet animal : il est le seul vertébré actuel dont certains traits étaient déjà présents chez les sarcoptérygiens à l'origine des tétrapodes. Ces caractères ancestraux, tels l'articulation intracrânienne, les nageoires charnues et pédonculées, et le poumon (en fait un cours diverticule issu de l'œsophage), sont mêlés aux caractères dérivés, apparus au cours de l'évolution des coelacanthes, telle la morphologie symétrique des os des nageoires (voir l'encadré page ci-contre).

L'anatomie de *Latimeria* a captivé les chercheurs depuis sa découverte, mais de nombreuses questions persistent sur la fonction de certaines structures. On s'interroge par exemple sur le rôle de son organe rostral, une structure incluse dans le museau et censée être sensible aux impulsions électriques, ou encore sur celui de

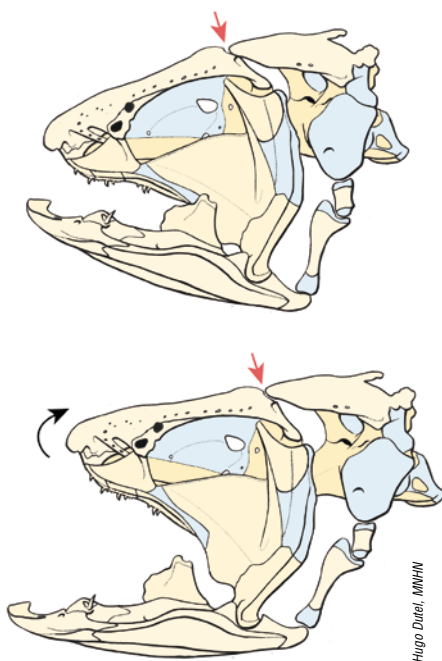
l'articulation intracrânienne dans la prise alimentaire (voir la figure 3).

Latimeria chalumnae est l'une des espèces animales dont l'anatomie est la mieux connue (voir l'encadré ci-contre), mais, paradoxalement, nous savons très peu de chose sur sa reproduction, son développement, son comportement et son écologie. Plusieurs raisons expliquent cet état de fait : d'une part, les populations actuelles de coelacanthes sont restées discrètes jusqu'à récemment – la population de coelacanthes des Comores ayant été longtemps la seule connue. Ce n'est qu'à partir des années 1990, et à l'occasion de captures ponctuelles, que de nouvelles populations ont été découvertes : au Mozambique en 1991, à Madagascar en 1995, en Afrique du Sud en 2000, au Kenya en 2001 et en Tanzanie en 2003 (voir la figure 2).

À ces populations du canal du Mozambique s'est ajoutée en 1997 une population indonésienne. Cette année-là, un jeune postdoctorant américain en biologie marine et son épouse sont en voyage de noces sur l'île de Manado Tua, quand, dans un marché aux poissons, ils identifient un coelacanth ! Le premier spécimen d'une nouvelle population venait d'être découvert à 10 000 kilomètres du canal du Mozambique. Il s'agissait d'une espèce distincte de celle des coelacanthes comoriens, que les paléontologues ont nommée *Latimeria menadoensis*.

Ils ne survivent pas en captivité

L'idée de remonter un coelacanth en surface pour l'étudier en captivité a souvent tenté les scientifiques et les aventuriers. Reste que toutes les tentatives ont échoué : aucun coelacanth n'a jamais pu être maintenu vivant en surface plus de quelques heures. Aucune des hypothèses avancées pour expliquer cette vulnérabilité ne fait consensus. La plus pertinente, mais qui reste à prouver, serait que les efforts du poisson pour se libérer entraîneraient une asphyxie (les coelacanthes sont dotés de branchies très petites par rapport à leur taille), circonstance aggravée par une production d'acide lactique excessive (due aux efforts musculaires) pour le métabolisme lent du coelacanth. Quoi qu'il en soit, il faut espérer que ces tentatives pour remonter un coelacanth vivant seront les dernières. Du reste, *Latimeria* a été



3. L'ARTICULATION INTRACRÂNIENNE est indiquée par la flèche rouge et divise le crâne du coelacanth en deux parties. Elle autoriserait un curieux mécanisme d'ouverture de la gueule : une élévation de 15 à 20 degrés du museau ferait pivoter la partie antérieure du crâne et abaisserait la mâchoire inférieure.

L'anatomie de *Latimeria*, le coelacanthé actuel, présente de nombreux traits remarquables.

1 NAGEOIRES CHARNUES

Ces appendices sont un caractère propre aux poissons sarcoptérygiens, dont sont issus les tétrapodes (lignée des vertébrés terrestres). Très similaires à celles de *Latimeria*, les nageoires charnues de la lignée des tétrapodomorphes – les sarcoptérygiens, à l'origine des tétrapodes – étaient les organes à l'origine des membres. La nageoire pectorale de *Latimeria* contient une série d'os gainée par des muscles, au bout de laquelle s'étirent les rayons soutenant les nageoires, qui sont caractéristiques des sarcoptérygiens. La nageoire pectorale (ou pelvienne) est articulée au reste du corps via un os unique, qui est l'homologue de l'humérus (ou du fémur).

2 JOINT INTRACRÂNIEN

Cette articulation est une particularité présente chez tous les poissons sarcoptérygiens fossiles, mais que les dipneustes (des poissons à poumons) et les tétrapodes ont perdue. Elle articule les parties antérieure et postérieure du crâne lorsque l'animal ouvre la gueule. La biomécanique de cette articulation et son éventuel rôle dans la prise alimentaire restent mal connus.

3 ORGANE ROSTRAL

Cet organe se trouve dans une cavité située dans le museau. Les cellules qui le constituent sont très similaires à celles qui forment les ampoules de Lorenzini, capteurs de champ électrique que présente le museau des requins. La struc-

ture comparable des ampoules de Lorenzini et des cellules de l'organe rostral du coelacanthé suggèrent que *Latimeria* est doté du même genre d'électroperception que les squales.

4 POUMON VESTIGIAL

Le poumon consiste en un court diverticule issu de l'œsophage, entouré d'un manchon graisseux s'étirant dans la cavité abdominale. Non alvéolé, ce poumon n'est pas fonctionnel chez *Latimeria*. Toutefois, de nombreux coelacanthés fossiles, en particulier les formes datant du Mésozoïque (de 252 à 66 millions d'années), sont dotés d'un sac ossifié, allongé et fortement vascularisé. L'étude récente de cette structure chez *Axelrodichthys*, un coelacanthé du Crétacé, indique qu'il s'agissait d'un poumon fonctionnel.

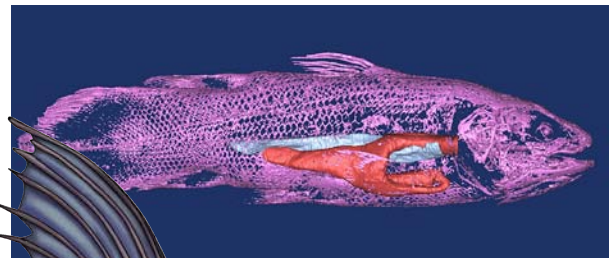
5 ENCÉPHALE

Le cerveau occupe environ un pour cent du volume de la cavité endocrânienne chez l'adulte, le reste étant rempli d'un tissu graisseux dans lequel s'étirent les nerfs crâniens et les vaisseaux sanguins.

6 OVOVIVIPARITÉ

Le coelacanthé est ovovivipare, c'est-à-dire que les œufs se développent et éclosent à l'intérieur de la femelle. Les embryons ont une morphologie très semblable à celle des adultes et se développent grâce à un sac rempli de réserves nutritives (sac vitellin). Les femelles peuvent porter jusqu'à 26 embryons dont la taille atteint parfois 30 centimètres. On ignore si la durée de gestation se compte en mois ou en années, et le développement embryonnaire précoce demeure inconnu.

Les techniques d'imagerie moderne, telles que l'imagerie par résonance magnétique ou le scanner à rayons X, permettent de modéliser en trois dimensions les structures anatomiques internes. Ci-contre, il s'agit de l'appareil digestif (en rouge) et du manchon graisseux d'origine pulmonaire (en bleu). Les chercheurs comprennent ainsi beaucoup mieux les relations entre les structures internes.



© Gail Clément, MNHN

Nageoire charnue

1

Articulation intracrânienne

2

Encéphale

5

Poumon vestigial

4

Ovoviviparité

6

Organe rostral

3

L'un des traits anatomiques remarquables de *Latimeria chalumnae* est sa curieuse nageoire caudale secondaire, que l'on aperçoit ci-dessus, à gauche à l'extrémité de la colonne vertébrale.

© Charline Letenneur

placé sur la liste rouge des espèces « en danger critique d'extinction » de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN), ce qui interdit toute pêche, y compris scientifique.

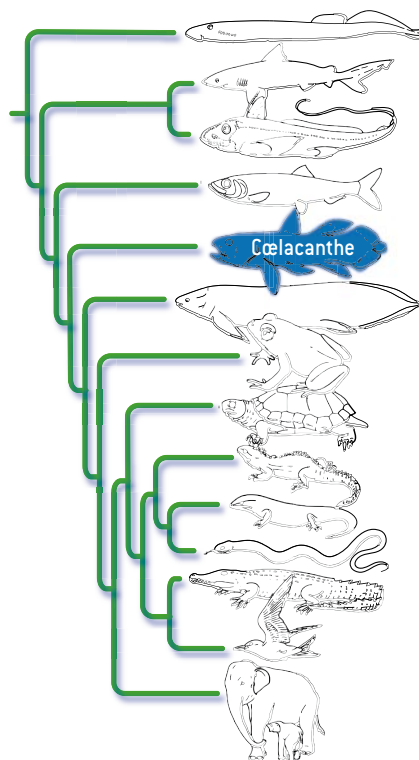
La piste de l'étude anatomique d'un coelacanthe vivant étant impraticable, nous nous sommes retournés vers un spécimen conservé dans un fluide au Muséum, à Paris. Placé sur un brancard, ce spécimen pêché il y a 60 ans a d'abord été examiné par un scanner à rayons X, puis par un appareil d'imagerie par résonance magnétique (IRM). Avec les nombreuses coupes virtuelles de son corps ainsi obtenues, nous avons construit un modèle virtuel en trois dimensions très détaillé de l'anatomie du coelacanthe, à l'aide duquel nous avons simulé le fonctionnement de certaines structures, telle l'articulation intracrânienne. Cela nous a aidés à clarifier l'histoire évolutive compliquée des coelacanthes (voir la figure 4).

Une technique inédite de plongée profonde

La priorité suivante semble être de faire progresser la biologie, la zoologie et l'écologie du coelacanthe actuel. Cela implique de parvenir à l'étudier dans son environnement. À plus de 200 mètres de profondeur, la méthode la plus logique, car la plus sûre, consiste à employer des submersibles. C'est ce qu'a fait aux Comores dès 1986 le biologiste Hans Fricke, de l'Université de Munich. Les quelque 200 plongées réalisées jusqu'au début des années 1990 ont fourni les premières informations essentielles sur le mode de vie de *Latimeria* : on a ainsi appris qu'il s'agit d'un animal placide, aux déplacements lents, qui s'active la nuit et se repose le jour dans quelque cavité.

L'arrivée d'un engin massif et sonore perturbe toutefois les animaux qui vivent dans le calme des profondeurs. Pour étudier plus avant le comportement de *Latimeria*, il fallait l'observer et l'étudier sans le stresser, ni même le perturber. Comment faire ?

En plongeant sans submersible ! Courant 2000, nous avons appris la présence d'une population de coelacanthes vivant dans les eaux de la baie de Sodwana, au Nord-Est de l'Afrique du Sud, par seulement 120 mètres de profondeur. Or dans l'espoir de rendre possible l'exploration de la zone aphotique – la partie de la colonne d'eau où la lumière ne pénètre plus –, l'équipe de



4. LA POSITION DU CŒLACANTHE ACTUEL dans l'arbre phylogénétique simplifié des vertébrés (d'après Philippe Janvier, 1996).

plongeurs professionnels de l'un d'entre nous (L. Ballesta) développe depuis une dizaine d'années une méthode innovante de plongée profonde. Cette technique est fondée sur des scaphandres recycleurs gérant en circuit fermé le mélange respiratoire, système qui permet en particulier d'éviter de s'équiper d'une multitude de bouteilles. Le plongeur emporte plutôt une quantité limitée de mélange qui sera recyclé grâce à une électronique dédiée. Très technique, la mise au point de ce recyclage, non seulement évite la narcose (impératif !), mais donne le temps de passer plusieurs dizaines de minutes au fond avant les nombreux paliers de décompression d'une remontée qui durera de six à sept heures (voir la figure 7).

Ces évolutions techniques mettaient les coelacanthes de la baie de Sodwana à notre portée. Toutefois, les plongées dans la zone aphotique exigent une grande préparation technique, physique et mentale. La mise au point de nos techniques de plongée profonde a fini par l'organisation, en janvier 2010, d'une expédition pour aller observer les coelacanthes de la baie de Sodwana. Nous y avons enchaîné plusieurs séjours techniques sous l'eau, durant lesquels nous avons pu passer de 30 à 40 minutes en contact avec les coelacanthes, avant quatre à six heures de paliers de décompression...

Une façon de nager atypique

Le temps passé au fond était donc limité, mais suffisant pour entrer avec douceur dans l'environnement immédiat des animaux et y agir de façon beaucoup plus discrète, efficace et rapide que cela n'aurait été possible avec un robot plongeur.

L'objectif de cette première campagne scientifique était simple : accumuler le plus possible d'observations naturalistes des coelacanthes dans leur élément, sans les perturber ou les mettre en danger. Les photographies et les films en haute définition que nous avons rapportés prouvent que nous y sommes parvenus. On y voit une sorte de patriarche serein des profondeurs, un coelacanthe curieux et tranquille occupé à observer... ses observateurs.

La question de la nage du coelacanthe nous intéressait en priorité. Avant les premières observations directes, notamment les précieuses prises de vue depuis un sous-marin rapportées par H. Fricke dans les années 1980, on avait longtemps supposé

que le coelacanth rampait, voire marchait, sur le fond marin à l'aide de ses paires de nageoires pédonculées... Les images de H. Fricke montraient en réalité *Latimeria* pratiquant en pleine eau une nage aussi harmonieuse qu'atypique, mettant en jeu l'ensemble de ses nageoires dans un ballet à la coordination complexe.

La nage du coelacanth ressemble parfois à la reptation d'un lézard, voire à la marche de tout tétrapode terrestre. Au cours de nos plongées, nous avons effectivement observé que le coelacanth meut l'une de ses nageoires pectorales en même temps que la nageoire pelvienne opposée, puis la paire opposée de nageoires. Nous avons constaté que ce comportement est spontané chez *Latimeria*.

Une autre évidence nous a frappés : le coelacanth nage presque toujours très lentement et stationne souvent. Ainsi, le premier coelacanth que nous avons trouvé était tranquillement posté à l'entrée de sa grotte ; il nous a observés un moment, puis s'est lentement élevé dans les eaux. Il a alors principalement utilisé sa nageoire anale et sa deuxième nageoire dorsale qui, telles des hélices tournant au ralenti, bougeaient lentement pour lui permettre d'accomplir avec précision les déplacements souhaités.

Un point qui frappe tous les naturalistes ayant observé des coelacanthes, tant fossiles que vivants, est que ces animaux sont dotés d'une minuscule nageoire caudale secondaire prolongeant leur nageoire caudale principale (voir la figure 5). Quelle est sa fonction ?

La nageoire caudale des poissons sert, comme une godille, à les propulser en poussant des masses d'eau alternativement d'un côté et de l'autre. Grâce à leur souplesse, les requins, par exemple, se déplacent en accompagnant les flux d'eau par un mouvement ajusté de façon à limiter les brusques variations de vitesse et les turbulences énergivores associées.

La présence de la nageoire secondaire miniature au centre de la nageoire caudale principale suggère que *Latimeria* peut s'en servir pour obtenir les mêmes avantages à petite échelle, afin de pratiquer une nage lente, sans doute très discrète. Est-ce là le seul usage que fait *Latimeria* de sa nageoire caudale ? Non. Il est arrivé que, lassé par la compagnie du groupe de plongeurs, un individu s'éloigne brusquement de dix mètres d'un puissant coup de queue

■ LES AUTEURS

Hugo DUTEL, doctorant au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, prépare une thèse sur l'histoire évolutive et la biologie des coelacanthes.

Marc HERBIN est biologiste spécialisé en morphologie fonctionnelle au Muséum national d'histoire naturelle.

Laurent BALLESTA, biologiste marin et photographe, a fondé et dirige la Société d'étude et d'exploration *Andromède océanologie*.

Gaëli CLÉMENT est paléontologue au Muséum national d'histoire naturelle.

pour... stationner de nouveau, comme s'il se jouait des plongeurs.

Pourquoi n'enchaîne-t-il pas ses coups de queue afin de semer définitivement les plongeurs ? Si le dispositif caudal de *Latimeria* le rend manifestement capable de brusques avancées, son métabolisme probablement très lent lui interdirait de les renouveler.

Comment chasse-t-il ?

Cette observation suggère la façon dont *Latimeria* chasse probablement. Les individus que nous avons observés étaient de taille imposante, donc adultes. Il se pourrait que les coelacanthes matures soient les seuls à séjourner à des profondeurs relativement faibles. Dans la grotte qui leur sert de lieu de repos, ils ne semblent pas d'humeur à se nourrir : nous n'avons vu aucune prédation, puisqu'ils sortent uniquement la nuit pour



5. LA PREMIÈRE RENCONTRE AMICALE ENTRE L'HOMME ET LE COELACANTH s'est déroulée dans une ambiance sereine, ce poisson curieux et placide n'ayant craint ni de se laisser approcher ni de se laisser baigner dans la lumière des projecteurs (*en haut*). En bas, un détail de la curieuse nageoire secondaire postérieure dont est doté l'animal.

chasser. Les coelacanthes peuvent descendre à plus de 500 mètres, où règne une obscurité totale, en se servant peut-être des capteurs de champ électrique présents dans leur organe rostral pour repérer leurs proies.

Comment s'effectue la prise alimentaire d'un coelacanth ? Nous pensons que l'articulation intracrânienne évoquée plus haut intervient. On a longtemps supposé que ce dispositif complexe, qui n'est connu dans les espèces actuelles que chez le coelacanth, permet à l'animal, par une élévation de 15 à 20 degrés du museau, d'ouvrir brusquement sa gueule afin de créer une puissante aspiration. Toutefois, à la lumière des données acquises par imagerie à rayons X, il semble que cette articulation ne puisse être aussi mobile qu'on ne le pensait. Filmer un coelacanth en train de capturer une proie nous permettrait de le confirmer.

Une nageoire caudale secondaire pour les mouvements fins ?

Quoi qu'il en soit, sans doute est-ce dans la chasse que les puissants coups de queue du coelacanth jouent leur rôle ; quant aux furtifs mouvements de sa petite nageoire caudale secondaire, ils le rendent peut-être capable d'approches lentes et patientes dans le noir... *Latimeria* resterait donc à l'affût jusqu'à percevoir la présence d'une proie grâce à son système de sensibilité électrique ; il s'en rapprocherait

■ BIBLIOGRAPHIE

H. Fricke *et al.*, *The population biology of the living coelacanth studied over 21 years*, *Marine Biology*, vol. 158, pp. 1511-1522, 2011.

K. Hissmann *et al.*, *The South African coelacanths – an account of what is known after three submersible expeditions*, *South African Journal of Science*, vol. 102, pp. 491-500, 2006.

P. L. Forey, *History of the Coelacanth Fishes*, Chapman and Hall, 1998.

J. Millot et J. Anthony, *Anatomie de Latimeria chalumnae*, vol. 1, Squelette et muscles, CNRS, 1958.

G. Lecointre *et al.*, *Du rîfi chez les poissons*, *Pour la Science* n° 390, pp. 56-63, 2010.

d'abord doucement, puis vite avant de déclencher une aspiration « implosive » quand il est tout près de sa victime. Un scénario à infirmer ou confirmer par des observations directes...

Nous planifions une deuxième expédition afin de pousser l'étude scientifique du comportement de *Latimeria chalumnae* au-delà des simples observations. Nous préparons pour cela une série de protocoles expérimentaux compte tenu du savoir-faire acquis quant à la façon d'approcher ce poisson sans le perturber.

Le premier de ces protocoles a pour objectif de préciser la coordination motrice de *Latimeria*. Nous prévoyons de filmer sa nage avec un système stéréoscopique de deux caméras de haute définition prenant chacune 500 vues par seconde. Une prise de données que seule l'expérience acquise dans l'exploitation de telles caméras à grande profondeur rend envisageable.

Une fois la coordination motrice du coelacanth vivant saisie en images, les mouvements de ses articulations seront analysés en mettant en relation les mouvements du squelette avec ceux de l'enveloppe corporelle. Cette étape, que nous préparons, peut être franchie grâce à la tomodensitométrie (passage au scanner à rayons X) ou l'imagerie par résonance magnétique d'un spécimen issu des collections en fluide du Muséum, puis en ajoutant les mouvements filmés de l'enveloppe corporelle de l'animal. Nous espérons ainsi comprendre comment évolue la géométrie du squelette au cours de la nage, voire au cours de la prise de nourriture.

Pour ce faire, nous tenterons de forcer la chance en proposant une proie (un calmar) au coelacanth. Tandis qu'un plongeur s'acquittera de cette tâche, un autre filmera le déroulement de la scène de prédation. *Latimeria* se prêterait-il au jeu ? Afin d'agir dans les conditions optimales, ces films de la locomotion et de la prise alimentaire du coelacanth seront réalisés de nuit, lorsque l'animal est en pleine activité.

Un protocole est aussi prévu pour apprécier la diversité génétique de la population de *Latimeria* de la baie de Sodwana. On sait en effet qu'un brassage génétique insuffisant multiplie les problèmes de consanguinité et de faiblesse immunitaire au sein d'une population. Pour l'heure, seulement 27 individus ont été répertoriés. Cela suggère que les effectifs de cette population de coelacanthes sont réduits, même si d'autres



6. CE COELACANTHE FOSSILE est mort au Jurassique. Il a été fossilisé dans les sédiments fins formant aujourd'hui un magnifique calcaire lithographique. On reconnaît la nageoire postérieure secondaire, caractéristique des coelacanthes depuis des centaines de millions d'années.

individus de la même population vivent probablement à des profondeurs inaccessible en plongée autonome. Il sera donc intéressant d'évaluer la diversité génétique de la « population d'altitude » afin d'estimer le degré de fragilité de la population globale de coelacanthes de la baie de Sodwana, et ce sans prélever des tissus sur des spécimens fraîchement pêchés ou arracher des écailles à l'aide de harpons équipant les robots sous-marins...

Au cours de la première expédition, nous nous sommes interdits de toucher le corps des poissons. Mais la tranquillité des face-à-face que nous avons vécus suggère que nous pourrions pratiquer de délicates caresses afin de prélever du bout d'un coton-tige un peu du mucus qui couvre les écailles. Les minuscules échantillons ainsi recueillis contiendront assez de cellules pour effectuer des analyses en laboratoire.

Une autre méthode issue des progrès de la métagénomique (étude du contenu génétique d'un échantillon issu d'un environnement complexe) permettra de séquencer directement des fragments d'ADN de coelacanthes en suspension dans les grottes sous-marines où séjournent ces animaux : les plongeurs n'auront qu'à ramener en surface quelques litres d'eau de mer. Ce type de prélèvement protège les animaux de tout stress. Les analyses génétiques devraient nous permettre de déterminer si les coelacanthes d'Afrique du Sud représentent une population réellement isolée, ou si des gènes circulent entre les différentes populations du canal du Mozambique.

Nous prévoyons aussi de compléter ces études génétiques par des suivis télémétriques de coelacanthes à l'aide de balises acoustiques et satellitaires. Le suivi télémétrique de femelles adultes nous permettra peut-être de répondre à l'importante question du milieu de vie des juvéniles. Les coelacanthes sont en effet ovovivipares, c'est-à-dire que les œufs et les embryons se développent dans l'oviducte de la mère, avant que cette dernière ne donne naissance à des jeunes entièrement formés et longs d'une trentaine de centimètres (voir l'encadré page 33). Où vivent-ils, une fois nés ?

Sur les quelque 300 individus officiellement répertoriés dans les collections du monde entier, les individus juvéniles de moins de 80 centimètres de long se comptent sur les doigts d'une main. En 2009, une équipe japonaise a réussi à filmer dans les eaux indonésiennes un coelacanth de moins



© Laurent Baillet. Anormète océanologie

7. UNE EXPÉDITION SCIENTIFIQUE EST PRÉVUE POUR 2013, qui sera le sujet d'un film sur la chaîne de télévision Arte. Tandis que les chercheurs du Muséum ont élaboré des protocoles scientifiques, les plongeurs-explorateurs l'ont préparée en mettant au point les techniques nécessaires avec le soutien de fabricants spécialisés en matériel de plongée, de prise de vue sous l'eau et de montres de plongée.

de 40 centimètres. Cette quasi-absence de juvéniles au sein des populations connues est mystérieuse. Elle suggère l'existence de zones de mise bas et de développement des jeunes dans des territoires marins, sans doute profonds, qui restent à déterminer. Nous espérons ainsi que le suivi d'une femelle nous aidera à découvrir les nurseries des coelacanthes.

Protéger les coelacanthes

Par ailleurs, la connaissance des déplacements des coelacanthes, en particulier sur de grandes distances, voire entre populations différentes, est nécessaire pour déterminer comment les protéger. Les coelacanthes font malheureusement partie de ces espèces fragiles et à croissance lente que la pratique du chalut profond met en danger. Par cette détestable technique, qui consiste à traîner au fond de l'océan une lourde poutre d'acier à laquelle est arrimé un filet, les pêcheurs modernes prélèvent à grande vitesse les espèces marines profondes, alors qu'elles sont à peine connues et avant qu'elles aient été véritablement étudiées. Après avoir surpêché les plateaux continentaux, ils apprécient aujourd'hui de pêcher à grande profondeur les poissons de belle taille que l'on y trouve. Mais est-ce sensé alors que les effectifs de poissons profonds sont faibles ?

C'est pourquoi un des enjeux de nos recherches est de contribuer à rassembler le plus vite possible les arguments et les méthodes nécessaires à la conservation des deux espèces actuelles de coelacanthes. Comme elles passent pour des espèces apparentées aux vertébrés terrestres, donc à l'homme, et qu'elles sont célèbres, il existe sans doute des chances de les sauver. Nous espérons en particulier que les résultats du suivi télémétrique de membres de la population de la baie de Sodwana aideront à mettre en place la meilleure politique de conservation possible. Et que cette dernière sera ensuite applicable aux autres populations de coelacanthes du reste de l'océan Indien. Les données rassemblées par les biologistes contribueront par ailleurs à informer les populations locales, qui dépendent des ressources marines sur la façon dont elles peuvent participer à la protection des coelacanthes.

Au niveau international, nous espérons que les réglementations de protection des espèces menacées seront appliquées strictement à *Latimeria chalumnae* et à *Latimeria menadoensis*. De telles mesures seront d'autant plus efficaces qu'il sera possible de les justifier par le progrès des connaissances biologiques et zoologiques sur les coelacanthes dans leur environnement. Une course est aujourd'hui engagée pour sauver un groupe animal présent sur Terre depuis plus de 400 millions d'années. ■

L'étonnant retour de la **MEDECINE** traditionnelle chinoise

Paul Unschuld

La Chine moderne a voulu remplacer son ancienne tradition thérapeutique par la médecine occidentale. Mais l'intérêt occidental pour la médecine traditionnelle chinoise a entraîné une renaissance de cette dernière.

Médecine traditionnelle? Les traditions sont aussi difficiles à définir qu'à dater. Essayez par exemple de dater à l'aide de Google ce que l'Organisation mondiale de la santé nomme la TCM, c'est-à-dire la médecine traditionnelle chinoise (*Traditional Chinese Medicine*). Le moteur de recherche vous renverra des affirmations contradictoires. D'un côté, cette médecine sera dite « vieille de quelques milliers d'années » (sur le site d'un laboratoire pharmaceutique), « généralement datée de 3000 ans avant J.-C. » (*Wikipedia*), « hexamillénaire », etc. D'un autre côté, vous lirez dans le même article de *Wikipedia* que les « premiers écrits médicaux attestés datent d'entre 580 et 320 avant J.-C. » ; ailleurs, Jean-Marc Stéphan, médecin enseignant l'acupuncture obstétricale à l'Université de Lille 2, rapporte dans son *Abrégé de l'histoire de la médecine chinoise* que cette médecine est en fait une « tradition inventée » à la fondation de la Chine communiste...

Ainsi, s'il y a bien une tradition concernant la médecine traditionnelle chinoise,

L'ESSENTIEL

- La Chine moderne considérait la médecine traditionnelle comme antiscientifique, de sorte que l'on a cherché à l'encadrer et à y sélectionner ce qui paraissait efficace.
- Toutefois, les Occidentaux qui ont visité la Chine dans les années 1970 ont confondu le résultat de cette rationalisation avec la médecine antique.
- Un développement de la « médecine traditionnelle chinoise » s'en est suivi en Occident, que la Chine exploite commercialement tout en le craignant.

© AStock/Corbis

c'est de lui attribuer une ancienneté légendaire! Nous allons replacer cette médecine traditionnelle dans son contexte historique et montrer que cet ensemble de pratiques thérapeutiques, qui est enseigné aujourd'hui dans nos facultés, est davantage une médecine chinoise qu'une médecine traditionnelle.

Un historien n'a guère d'incertitudes sur les origines et l'ancienneté de la médecine chinoise. Il peut en effet se référer aux nombreuses découvertes réalisées dans les tombes chinoises du II^e siècle avant notre ère, qui prouvent la transmission en Chine d'un art médical depuis les temps préhistoriques. Parmi ces trouvailles, des textes montrent que cet art avait déjà atteint un haut niveau de développement dans les siècles qui ont précédé notre ère. Plusieurs centaines de substances végétales, minérales ou animales étaient alors employées pour traiter maladies et blessures, ainsi que des produits manufacturés, tels des goudrons ou encore des tapis de paille.