

> ont suscité une excitation particulière, car personne n'avait jamais vu une nageoire pectorale complète d'elpistostégien auparavant. À l'intérieur des nageoires, on distinguait de nombreux éléments du squelette, entourés d'écailles et de rayons osseux. À première vue, la nageoire pectorale d'*Elpistostege* ressemblait beaucoup à celle de *Tiktaalik*. Toutefois, elle paraissait contenir des os supplémentaires. De quoi s'agissait-il?

Les années suivantes, Richard Cloutier et Isabelle Bécharde ont présenté des résultats préliminaires de leurs analyses à des collègues lors de congrès scientifiques. C'est après une telle présentation, en 2014 à la Société de paléontologie des vertébrés, à Berlin, que Richard Cloutier et l'un de nous (John Long) ont décidé de collaborer.

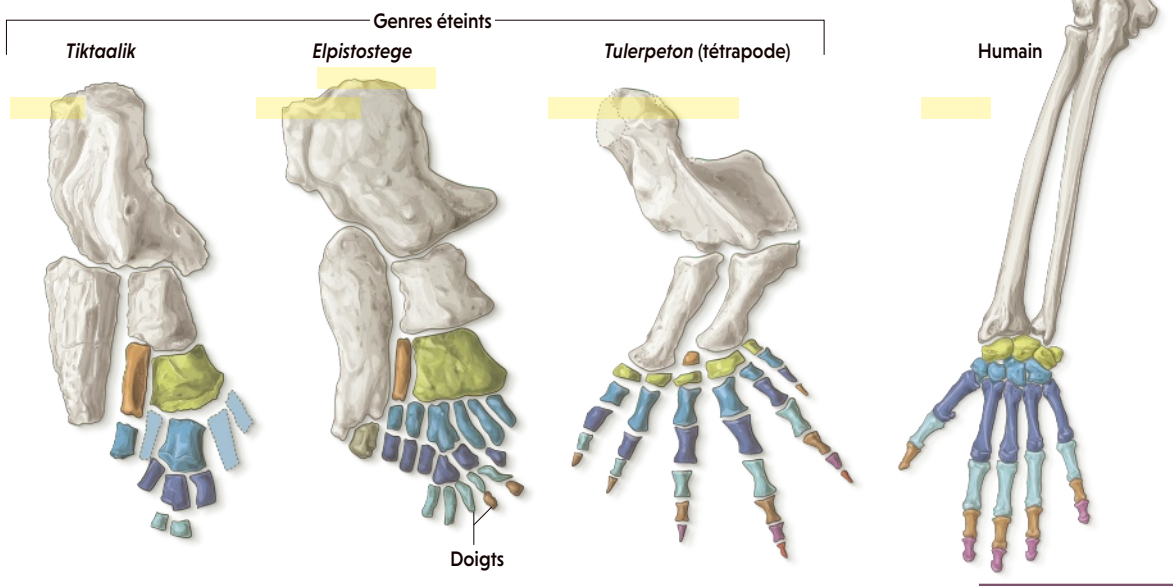
John Long travaillait depuis de nombreuses années sur des fossiles de poissons du Dévonien issus de la formation de Gogo, en Australie occidentale. Les squelettes de ces anciens poissons sont parfaitement conservés en trois dimensions, et les tissus mous de certains spécimens sont aussi particulièrement bien préservés. Pour étudier ces fossiles, situés à l'intérieur de nodules de calcaire, John Long et ses collègues

avaient l'habitude de dissoudre la roche en les plaçant dans des bains acides. Mais, plus récemment, ils se sont tournés vers la tomographie et l'imagerie à l'aide du rayonnement synchrotron assistées par des logiciels perfectionnés. Ces techniques leur permettent d'élucider la structure anatomique fine des fossiles avant qu'ils ne soient plongés dans des bains d'acide et ainsi de garder une empreinte des tissus mous préservés avant leur destruction par l'acide. Par sa conservation remarquable, le nouveau spécimen d'*Elpistostege* semblait un candidat idéal pour cette nouvelle approche.

En 2014, John Long s'est rendu au laboratoire de Richard Cloutier au Québec et a commencé à travailler avec son équipe sur la meilleure façon de traiter les données d'imagerie de ce poisson. Après plusieurs essais avec différents types de données et de logiciels, nous avons finalement trouvé une combinaison gagnante qui nous permettrait d'isoler et d'étudier numériquement chaque os. Alice Clement, de l'université Flinders, en Australie, ainsi que Roxanne Noël et Vincent Roy, alors étudiants en master sous la direction de Richard Cloutier, ont poursuivi ce travail.

DES NAGEOIRES AUX PATTES

Pendant des décennies, les scientifiques ont cru que les mains étaient des adaptations à la vie terrestre apparues chez les tétrapodes, car les plus anciens os de main connus provenaient de tétrapodes anciens comme *Tulerpeton*, et non de poissons ressemblant à des tétrapodes comme *Tiktaalik*. Dans la nageoire du poisson fossilisé *Elpistostege*, des os représentent au moins deux, voire cinq doigts. Ces os sont homologues de ceux que l'on trouve dans les mains des tétrapodes actuels, dont font partie les humains. Cette découverte montre que les doigts ont commencé à apparaître chez des poissons aquatiques avant d'être sélectionnés chez les tétrapodes du fait des avantages qu'ils conféraient à terre.



Quand Alice Clement a commencé à segmenter la nageoire pectorale, nous étions tenus en haleine. Cet organe contenait forcément des indices clés sur la transition entre les nageoires et les membres. Les résultats préliminaires n'ont pas déçu. Ils ont non seulement confirmé les résultats de tomographie suggérant la présence d'os supplémentaires dans la nageoire d'*Elpistostege*, mais aussi montré ces os de façon beaucoup plus détaillée. On voyait à présent que le fossile comprenait une série inattendue de nombreux petits os très serrés. Généralement, l'extrémité du squelette de la nageoire pectorale contient de petits os nommés «radiaux» qui supportent les rayons de nageoire. Les os les plus évidents dans cette partie de la nageoire d'*Elpistostege* étaient au bon endroit pour être des radiaux, mais leur nombre important ainsi que la disposition de certains en rangées distinctes suggéraient que ces derniers étaient autre chose. Il était très tentant d'y voir des os de doigts semblables à ceux des tétrapodes. À l'appui de cette hypothèse, nous avons identifié deux doigts, chacun composé de deux os articulés, ainsi que trois autres doigts possibles constitués chacun d'un seul os.

Pourquoi notre argument est-il plus convaincant que celui des os de doigts rudimentaires dans les nageoires pectorales de *Panderichthys*? Les supposés os de doigts de *Panderichthys* sont de forme irrégulière et aucun ne présente d'articulations avec d'autres, du type de celles qui relient les os des doigts – ou phalanges – dans la main humaine. D'après la comparaison avec les os de la nageoire d'*Elpistostege*, il est probable qu'ils soient équivalents à certains os carpiens des poignets des tétrapodes.

DES POISSONS HORS DE L'EAU

Pendant que l'équipe finissait d'isoler la nageoire et la ceinture (les os qui se connectent aux nageoires) pectorales afin d'étudier chaque os sous tous ses aspects, nous avons aussi commencé à décrire les caractéristiques internes du crâne et du neurocrâne, la partie qui entoure le cerveau. Ce travail nous aiderait à mieux comprendre non seulement l'anatomie d'*Elpistostege*, mais aussi ses liens de parenté avec les autres poissons primitifs et les tétrapodes.

Pour déterminer la place d'*Elpistostege* dans l'arbre de l'évolution, nous devons le comparer avec d'autres espèces en examinant les traits distinctifs qu'ils partageaient. En collaboration avec Mike Lee, de l'université Flinders, un expert des méthodes de détermination des liens de parenté entre espèces, nous avons effectué une analyse phylogénétique de 202 caractéristiques chez 43 espèces. Nous avons alors constaté avec stupéfaction qu'*Elpistostege* paraissait plus étroitement apparenté au groupe couronne des tétrapodes – le groupe qui comprend tous les tétrapodes vivants et leur dernier ancêtre commun – que ne l'est

Tiktaalik, quoique de peu. Notre hypothèse est que les caractères uniques de la nageoire pectorale d'*Elpistostege* (en l'absence de nageoire complète de *Tiktaalik*), ainsi que quelques traits récemment découverts dans la ceinture pectorale, ont suffi à rapprocher *Elpistostege* des tétrapodes dans l'arbre de l'évolution.

Nous avons identifié deux doigts composés de deux os articulés

En combinant les informations obtenues sur le squelette d'*Elpistostege* et celles concernant sa place dans l'arbre de l'évolution, nous avons reconstruit l'apparition du plan de base des mains des tétrapodes. La présence, dans la nageoire pectorale d'*Elpistostege*, de petites rangées d'os que nous avons identifiées comme des doigts montre que cette organisation est apparue au début du Dévonien tardif, il y a plus de 380 millions d'années, chez des poissons à nageoires charnues évolués. Ces structures servaient probablement à supporter leur poids, car le fait d'avoir de nombreux petits os alignés dans cette région aurait donné à la partie extérieure de la nageoire robuste la souplesse nécessaire pour pousser le poisson vers le haut.

Quel aurait été le bénéfice d'une telle manœuvre? Le crâne d'*Elpistostege* fournit un indice: à l'arrière de la tête se trouvent deux grands trous nommés «spiracles». Certains poissons modernes qui respirent de l'air ont des spiracles similaires. Pendant longtemps, un doute a subsisté sur la fonction de ces trous. Dans une étude publiée en 2014, John Long a donc travaillé avec une équipe d'ichtyologistes de l'institut d'océanographie Scripps, à La Jolla, en Californie, pour la déterminer. En analysant les spiracles de bichirs *Polypterus* vivants (des poissons africains d'eau douce), nous avons montré qu'ils sont indispensables pour respirer l'air. En supposant que les spiracles d'*Elpistostege* aient eu la même fonction, la capacité de soulever son corps aurait constitué un avantage pour sortir la tête de l'eau dans les rivières peu profondes et l'estuaire où vivait ce poisson.

Par ailleurs, *Elpistostege* n'était pas nécessairement limité au domaine aquatique. Aujourd'hui, les dipneustes et certains poissons-chats sont capables de se propulser sur la ➤