

Quand un poisson met le pied sur terre...

Au sein de l'histoire du vivant il existe plusieurs moments étant des charnières, des moments importants de l'histoire évolutive du vivant. On peut citer, entre autres, l'apparition des formes de vie pluricellulaire, l'apparition, la domination et la disparition des Dinosaures, la diversification des mammifères, l'origine et l'évolution de la lignée humaine ... mais aussi la terrestrialisation. Qu'entends t'on par là ? Il s'agit non seulement de quitter le milieu océanique, où s'est développée la Vie, mais aussi de s'affranchir du médium aquatique pour la vie et la reproduction. Il y eut plusieurs épisodes de conquête du milieu terrestre au cours de l'histoire du vivant. Les bactéries, algues et champignons quittèrent le milieu océanique il y a 700 millions d'années (Ma en abrégé), les plantes débutèrent leur conquête vers il y a 450 Ma et s'émancipèrent du médium aquatique quelques 75 Ma plus tard. Les animaux invertébrés, eux, sont présents sur Terre dès 430 Ma (vers de terre, scorpions, araignées, mille-pattes, ...) et s'adaptèrent très vite aux conditions terrestres. Les vertébrés furent les derniers à commencer la conquête, il y a 400 Ma, et ce grâce aux tétrapodes.

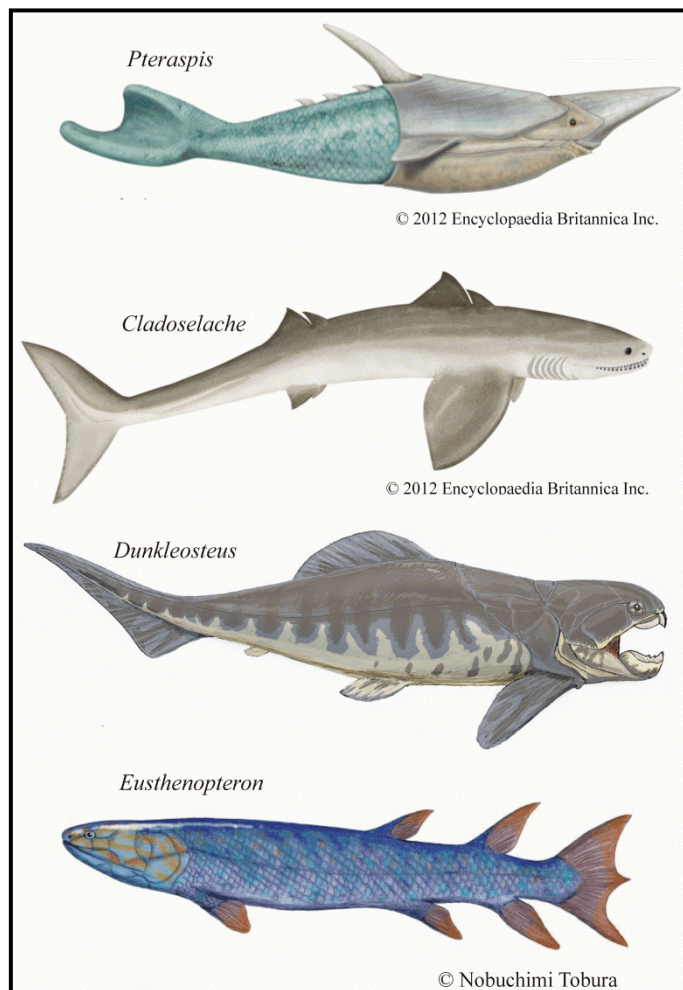
1. Le décor : la Terre il y a 400 Ma

Pour plus de facilités à se repérer de manière temporelle lorsqu'ils étudient les roches, les scientifiques divisent l'histoire de la Terre en périodes. Chacune des périodes sont différenciées en se basant sur différents éléments, notamment le type de roche, la faune et la flore qui ont été conservées de cette époque. Le Dévonien est décrit sur des roches affleurant dans le Devon anglais, d'où le nom, est une période comprise entre il y a 419-359 Ma. A cette époque la Terre était très différente de la Terre d'aujourd'hui, que ce soit du point de vue de la disposition des continents, du climat, de la flore et de la faune. Les continents terrestres étaient divisés en plusieurs ensembles différents. Le continent Gondwana (qui comprend l'Amérique du Sud, l'Afrique, l'Antarctique, l'Australie, le sud de l'Europe et l'Inde actuels) qui se trouvait dans l'hémisphère sud, s'étendant de l'équateur au pôle sud. Dans l'hémisphère nord on trouve le continent Euramerica (comprenant l'Amérique du Nord, le Groenland et le nord de l'Europe dont la Belgique) en position équatoriale, séparée de Gondwana par un océan appelé Rhéique. Au Nord de ce continent se trouvent les masses de Siberia et de Kazakhstan (futurs Sibérie et Kazakhstan). À l'est d'Euramerica se trouvent des masses terrestres, formant à l'époque deux archipels séparés, qui seront à l'origine des parties nord et sud de la Chine.



Positions reconstruite des masses continentales durant le Dévonien. L'étoile rouge marque la position estimée des terres qui constitueront la Belgique à l'époque actuelle. Carte par F. Boulvain

La température du globe était très élevée à cette période, avec une température estimée de 30°C pour les océans équatoriaux. En conséquence, le niveau océanique était très élevé et une grande partie des continents étaient recouvertes par des mers peu profondes. Au sein ces endroits de faibles profondeurs se développent, en zone équatoriale, de nombreux récifs. Ces zones abritent la diversité de la faune marine du Dévonien. On y retrouve différents types de trilobites, de céphalopodes (avec les premières ammonites) et de brachiopodes. Et des poissons, bien sûr – ils sont alors en plein développement : les formes les plus anciennes, les poissons sans mâchoire, entrent en lent déclin (on trouve encore quelques formes comme *Pteraspis*), les formes cuirassées se développent et gagnent en taille (donnant les premiers super-prédateurs, tel *Dunkleosteus*), et les premiers requins au squelette cartilagineux apparaissent (représentés par *Cladoselache*), de même que des poissons osseux. Ces derniers sont séparés entre les poissons à nageoires rayonnées (soit la plupart des formes de poissons actuels) et les poissons à nageoires charnues. Ces derniers étaient relativement diversifiés à l'époque. Aujourd'hui on ne compte que quelques espèces de Ceolacanthes. C'est de ce dernier groupe qu'émergeront les Tétrapodes. Sur la terre ferme les invertébrés sont à cette époque totalement acclimatés à la vie hors de l'eau. Les plantes achèvent leur conquête, passant de plantes d'une trentaine de cm de haut il y a 415 Ma à des plantes de 30m de haut 50 Ma plus tard. Les premières forêts essaient ainsi à la surface du globe. Aux zones d'interfaces entre milieu marin et continentales se développent des zones de type mangroves et des zones marécageuses.

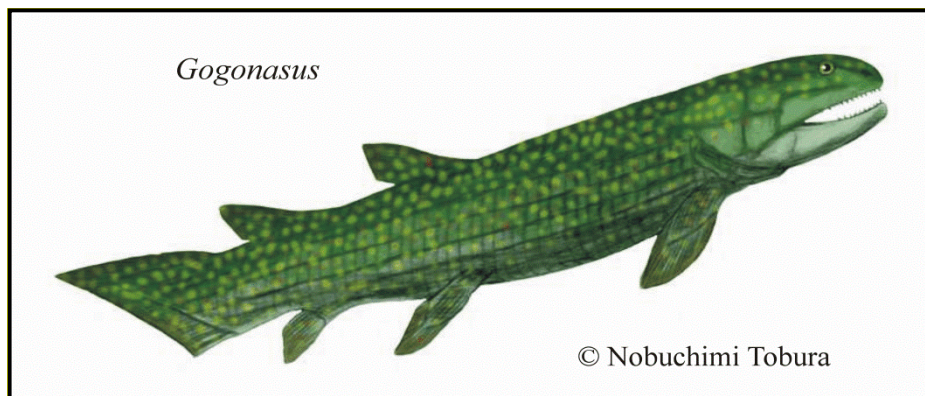


De Haut en bas : *Pteraspis*, poissons sans mâchoire typique du Dévonien. *Cladoselache*, le premier requin, début du Dévonien. *Dunkleosteus*, super prédateur de la fin du Dévonien. *Eusthenopteron*, poisson à nageoire charnue du début du Dévonien. Aucun des spécimens représentés n'est à l'échelle.

2. L'évolution vers les premiers Tétrapodes

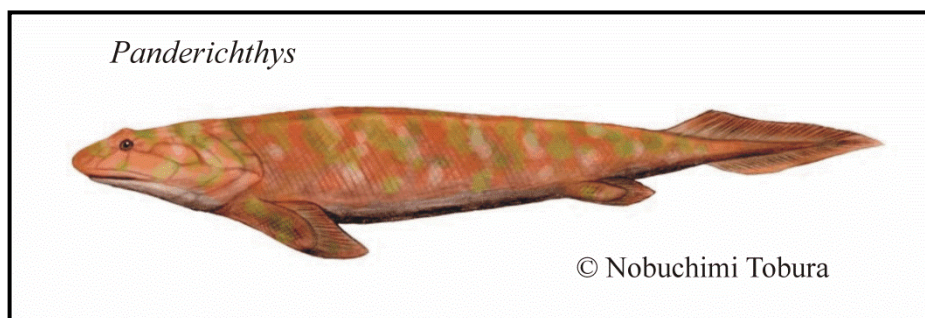
Pourquoi s'intéresser aux Tétrapodes en particulier ? Il s'agit en fait des premiers animaux dotés de deux paires de membres et qui réaliseront la conquête du milieu terrestre. Ils proviennent d'une sous-classe des poissons osseux, les Trétrapodomorphes. Présentons-en quelques-uns, qui représentent des points remarquables de l'évolution vers la conquête du milieu terrestre.

Une des premières formes présentées ici se nomme *Gogonasus*. Les premiers fossiles de cet animal datent d'il y a 380 Ma. C'est encore pleinement un poisson de par sa morphologie. Il possède encore des nageoires dorsales et sa nageoire caudale est encore identique à celle des autres poissons osseux. Néanmoins il possède plusieurs autres différences. Ses conduits auditifs sont très différents des ceux des autres poissons de l'époque tandis que ses nageoires antérieures possèdent des éléments osseux, qui sont les précurseurs des os des membres supérieurs des formes plus évoluées.



Vue d'artiste de Gogonasus, révélant que sa silhouette est encore celle d'un poisson

Panderichthys apparaît très peu de temps après *Gogonasus*. La résolution des datations géologiques ne permettant pas d'atteindre une résolution suffisamment élevée pour que cet événement ne semble pas instantané. Cet animal une évolution plus poussée que le précédent. Les nageoires dorsales ont disparu et la nageoire caudale a subi des changements importants dans sa morphologie. Les nageoires antérieures ont continué de se développer avec l'apparition de différents os, notamment le radius et l'humérus que l'on retrouve dans les membres de tous les autres tétrapodes ultérieurs. Les nageoires n'ont par contre pas énormément de possibilités de mouvement dû à l'absence d'articulations mobiles. Elles sont néanmoins plus puissantes que celles de son prédécesseur direct grâce à un développement musculaire plus grand. Du point de vue du reste du squelette on observe l'apparition des précurseurs des os du bassin, l'augmentation en taille de la cage thoracique et l'apparition des narines sur la partie supérieure de son crâne. L'évolution des nageoires est tellement notable que l'on peut parler de membres véritables, au moins pour les membres antérieurs.



Vue d'artiste de Panderichthys. La perte des nageoires dorsales altère fortement la silhouette de cet animal, l'éloignant du poisson

On retrouve *Tiktaalik* il y a 375 Ma, quelques 5 Ma après *Gogonasus* et *Panderichthys*. Plusieurs squelettes remarquablement conservés ont permis la mise en évidence de plusieurs traits tout à fait novateurs dans le développement vers les tétrapodes. Ses côtes sont désormais plus longues et imbriquées. Sa tête, qui est devenu plus aplatie, peut bouger indépendamment de son corps de manière limitée grâce aux débuts de l'apparition du cou. Ses membres antérieurs évoluent encore avec l'apparition des précurseurs osseux des doigts, de l'articulation du coude et un début d'attachement des os des membres à la colonne vertébrale, autorisant de plus grands mouvements des membres. Ses nageoires postérieures deviennent également des membres en prenant une morphologie similaire à celle des membres antérieurs. Les côtes gagnent en longueur et commencent à former un début de cage thoracique. Cette structure n'est malgré tout pas encore assez développée pour éviter aux poumons de finir écrasés si l'animal sort à l'air libre : son milieu de vie naturelle reste l'eau. En effet le milieu aquatique permet de ressentir de manière atténuée les effets de la gravité et donc du poids du corps grâce à la poussée d'Archimède, rappelez-vous comment être dans une piscine vous affecte.



Vue d'artiste de Tiktaalik. Cette silhouette met en évidence le début de l'individualisation de la tête. La partie antérieure du corps s'éloigne des poissons, mais ce n'est pas encore le cas de la partie postérieure. L'animal est également représenté en position de repos, avec le dessus de la tête émergent de l'eau

Enfin, un des tétrapodes les plus primitifs, *Ichtyostega*, vivait il y a environ 360 Ma. Son squelette est plus complexe que celui des organismes précédents. Son crâne est désormais totalement différencié, avec des yeux orientés vers le dessus du crâne, et attachée au reste du corps par un cou. Ce cou permet à la tête de bouger de manière indépendante par rapport au reste du corps. Sa cage thoracique est désormais élargie, les côtes plus longues s'assemblent en un ensemble fermé, protégeant efficacement les poumons. Les membres sont désormais totalement articulés, comportant une articulation au niveau de l'épaule, une au coude et une au niveau du poignet. Ses pattes sont terminées par huit doigts, assemblés en une palette natatoire tournée vers l'extérieur du corps ayant une morphologie de pattes de canard. Ces évolutions lui permettent de soutenir son corps de manière efficace à l'extérieur de l'eau, au moins pour de courtes périodes. Il n'est par contre pas très à l'aise sur terre car sa colonne vertébrale, peu flexible, lui interdit de développer une marche efficace. De plus la disposition vers l'extérieur de ses doigts est plus adaptée pour la nage. On pense que son déplacement à terre ressemblait à celui d'un phoque.



Vue d'artiste d'Ichtyostega. Les articulations de ses membres sont bien visibles, de même que son allure désormais totalement éloignée des poissons.

Ichtyostega est considéré comme le premier véritable Tétrapode. Il en possède toutes les caractéristiques : deux paires de membres différenciés avec des doigts et des articulations mobiles, une tête plate bien différenciée et rattachée au corps par un cou et enfin une respiration par de véritables poumons. *Ichtyostega* et ses proches cousins restent encore des animaux inféodés au milieu aquatique.

3. Pourquoi sortir de l'eau ?

On peut se demander pourquoi ce genre d'organismes s'est développé. Après tout, la vie aurait pu rester dans l'eau, milieu moins agressif que la terre ferme et qui est l'endroit où la vie est apparue et a prospéré en premier. Plusieurs raisons peuvent expliquer l'apparition des tétrapodes et la sortie de l'eau. À cette époque il existe différents milieux écologiques, plus ou moins cloisonnés, abritant des formes de vie différentes les unes des autres. Les domaines côtiers en eaux salées sont peuplés par des animaux se déplaçant surtout sur le fond, ou nageant sur de faibles distances. Vivant au milieu des récifs, ces formes ont une forte empreinte écologique en monopolisant les lieux de vie et de repos ainsi que les sources alimentaires. Le milieu océanique profond est le domaine des poissons et de différents prédateurs adaptés à une nage puissante et rapide. Les eaux douces ne sont pas encore réellement peuplées par autre chose que des bactéries et autres organismes très simples. Les faunes sont de plus séparées, par des barrières naturelles, dans des provinces géographiques distinctes. Ainsi, les ancêtres des Tétrapodomorphes se sont principalement développés sur la marge sud du continent Euramerica. Ils étaient séparés des faunes du Gondwana par l'océan Rhéique.

Durant la période du Dévonien, la Terre a évolué d'un point de vue géographique. Les masses continentales se sont déplacées, entraînant petit à petit la fermeture de l'océan Rhéique. Les différentes faunes d'Euramerica et du Gondwana se sont alors retrouvées en contact et en compétition. Il en a résulté un déplacement des tétrapodomorphes vers les zones plus proches de la terre, comme les estuaires, les mangroves et les marais côtiers.

Ces milieux sont très différents du milieu maritime ouvert. Les courants peuvent y être plus forts et plus soudain. La profondeur y est plus faible et l'encombrement dû à des éléments végétaux, algues et débris d'arbres entre autres, plus important. La nage normale des poissons, faite d'ondulations de la nageoire caudale et de mouvements des autres nageoires y est très consommatrice d'énergie. Il faut en effet lutter contre les courants et fréquemment changer de directions. De par ce fait un autre type de nage a émergé suite à la sélection naturelle. Elle utilise des nageoires plus grandes et puissantes pour prendre appui sur le fond, afin de se stabiliser. La propulsion était assurée par des ondulations du reste du corps. Petit à petit, le perfectionnement des membres (os plus grands, musculature plus puissante, articulation, doigts) a permis de coloniser des zones toujours aquatiques mais au sein des terres, comme des lacs.

Les zones d'eaux douces étaient plus faiblement peuplées que les autres, il y avait donc plus d'opportunités de développement à ces endroits. La terre ferme a également pu être utilisée comme refuge contre les autres prédateurs, alors tous aquatiques. De plus la terre est alors occupée par des plantes et des invertébrés offrant de nouvelles sources de nourriture. Le temps passant, les animaux s'adapteront d'abord à une vie aussi bien terrestre qu'aquatique, devenant ce que nous appelons les amphibiens puis à une vie totalement terrestre, devenant ainsi les reptiles.

Yohan Cornet
Laboratoire Pal³
Département de Géologie
Université de Liège