

LA CLASSIFICATION DU VIVANT

Table des matières

1. Introduction :	4
2. Pourquoi ça change ? :	5
2.1 Rapide historique :	5
2.2 La révolution cladistique :	5
2.2.1 A propos du plan d'organisation :	6
2.3 Les caractères perdus secondairement :	6
2.4 L'apport de la biologie moléculaire.....	7
2.5 Le transfert horizontal des gènes.....	7
2.6 De nouvelles méthodes d'analyse morpho-anatomiques :	9
2.7 Toujours plus de groupes monophylétiques :	10
2.8 A propos de la Bioinformatique :	11
2.9 Vers une nouvelle phylogénie ?	11
2.10 Conclusion : une phylogénie peut en cacher un autre :	12
3. La nature des changements :	13
3.1 Note importante :	13
3.2 Lecture et interprétation des arbres présentés :	13
3.3 Les Eucaryotes :	15
3.3.1 Légende arbre Eucaryotes :	16
3.3.2 Diploblastique ou triploblastique ?	17
3.4 Les Protostomiens :	19
3.4.1 Légende arbre des Protostomiens :	20
3.4.2 Le retour des Lophotrochozoaires et des Lophophorates :	21
3.5 Les Deutérostomiens :.....	22
3.5.1 Légende arbre des Deutérostomiens :.....	23
3.6 A propos du devenir du blastopore : bouche en premier, ou anus en premier ?.....	25
3.7 Quid des différences classiques entre Protostomiens et Deutérostomiens :.....	27
3.8 Les Cnidaires :.....	29
3.8.1 Légende de l'arbre des Cnidaires :	30
3.9 Les Mollusques :	32
3.9.1 Légende arbre des Mollusques :	33
3.10 Les Gastéropodes :	35
3.10.1 Légende de l'arbre des Gastéropodes :.....	37
3.11 Les Euarthropodes :	39
3.11.1 Légende de l'arbre des Euarthropodes :	40
3.12 Les Malacostracés :	42

LA CLASSIFICATION DU VIVANT

3.12.1	Légende de l'arbre des Malacostracés :	44
3.13	Les Tétrapodes :	46
3.13.1	Légende de l'arbre des Tétrapodes :	46
4.	Comment aborder la classification dans les formations PB1 et PB2 ?	49
4.1	La classification au PB1 :	50
4.1.1	Clés de détermination vs classification :	50
4.1.2	Faut-il présenter l'arbre du vivant ?	51
4.2	La classification au PB2 :	53
5.	Conclusion :	55
6.	Bibliographie :	56
7.	Remerciements	57

ANNEXE 1 : Histoire des classifications

ANNEXE 2 : La classification phylogénétique : la méthode cladistique

ANNEXE 3 : Glossaire

1. INTRODUCTION :

L'histoire de ce mémoire commence par un simple appel téléphonique de Fred, alors en formation FB1 :

- « Michel, je suis en train de bosser sur l'exposé Cnidaires PB2... C'est quoi les Myxozoaires chez les Cnidaires ? »
- « Les quoi ? »
- « Les Myxozoaires. C'est dans le bouquin de la classification que tu nous as recommandé. »
- « Mais... Je n'ai rien de tout ça dans le mien... »
- « Oui, mais c'est la nouvelle édition que j'ai. C'est la 4^{ème}. »

Cela va déclencher une véritable révélation puis, une révolution... un peu comme un effet papillon.

Comment ? Mon livre sur la classification phylogénétique du vivant, dont j'étais fier, acheté il y a tout juste deux ans, est déjà dépassé ?... Guillaume LECOINTRE et Hervé LE GUYADER en ont fait une 4^{ème} édition ! Revue et augmentée, qui plus est...

Mais pourquoi donc ?

Je croyais que la classification était chose établie, que chaque chose était bien à sa place dans son étagère...

Qu'est-ce qui change ?

A la réflexion, le « fixisme » des classifications de l'époque avait quelque chose de confortable, de rassurant, chaque chose étant à sa place, c'était facile à enseigner. Mais c'était sans compter sur la systématique phylogénétique et les moyens, les progrès, les techniques mis à sa disposition.

L'image du professeur en blouse grise, au dernier sous-sol, entouré d'une multitude de bocaux bien étiquetés et remplis de formol dans lesquels baignent des organismes tous blancs, est aujourd'hui quelque peu écornée. La classification ne se résume pas qu'à ça...

Pour comprendre ce qui a changé et pourquoi, il a fallu m'y plonger totalement et, de fil en aiguille, j'ai découvert non pas un, mais deux sujets passionnants : la classification certes, mais aussi l'évolution du vivant. Deux thèmes aujourd'hui totalement indissociables, que j'ai souhaité partager dans ce mémoire, car d'apparence compliqués à aborder, sans doute parce que méconnus – on ne nous avait pas appris ça - et qui, en outre, sont sous les feux des projecteurs compte tenu de l'érosion actuelle et reconnue de la biodiversité, des changements climatiques...et des pandémies. Il y a urgence de savoir qui est proche de qui !

Mais si ça change tout le temps, comment va-t-on faire pour s'y retrouver et surtout pour enseigner ces transformations à nos plongeurs Bio ?

Difficile question, mais il est clair que, d'ores et déjà, en tant que formateur, il faudra s'adapter à ce nouveau contenu, continu, et trouver des solutions pour l'adapter à notre public.

2. POURQUOI ÇA CHANGE ? :

Une classification ne peut être définitive. Au cours des siècles, elles ont toujours changé du fait, entre autres, des connaissances et des progrès scientifiques et techniques, mais aussi, des préoccupations des scientifiques.

L'homme a toujours cherché à classer les organismes pour appréhender le monde du vivant. Toutefois, la vision de ce monde a évolué au cours des temps.

2.1 Rapide historique :

Jusqu'au milieu du XIX^{ème} siècle, les classifications, dites « traditionnelles » n'évoluaient guère. Certes, elles s'enrichissaient mais restaient « fixistes », les espèces ne pouvant évoluer par essence, et elles étaient « anthropocentriques », car les espèces étaient comparées à l'homme qui se plaçait au sommet de cette classification.

Darwin avait bien élaboré une théorie en 1859, selon laquelle il n'y avait de classification qui tenait que si on recherchait les caractères hérités d'un ancêtre commun (la phylogénie), mais il n'avait pas la méthode associée pour construire cette classification basée sur les liens de parenté, la systématique phylogénétique. Toutefois, lorsque Darwin publia son livre « A propos de l'origine des espèces », le monde scientifique commença à associer classification et évolution.

D'autres avaient bien tenté de le faire avant lui (transformisme), mais leurs idées et arguments avaient été balayés par le courant fort du moment, le fixisme.

A la suite de Darwin, les classifications se construisirent selon les découvertes du moment, notamment en embryologie, tout en prenant en compte l'évolution, mais elles restaient toujours très centrées sur l'homme et représentaient une certaine linéarité (cf. arbre Lucien Cuénot en 1938).

(Pour en savoir plus sur l'histoire des classifications voir Annexe 1).

Il faudra attendre près d'un siècle après Darwin, l'avènement de la méthode cladistique dans les années 1950, pour que soit bouleversée la classification traditionnelle construite depuis le 17^{ème} sur la base des observations anatomiques et morphologiques.

Depuis, les classifications n'ont cessé d'évoluer et continuent de le faire. Ces dernières ont plus évoluées en quelques décennies qu'en quasiment 2 siècles.

Pourquoi ?

2.2 La révolution cladistique :

La méthode cladistique mise au point par Willy Hennig en 1950 (cf. annexes 2 et 3), parfois appelée révolution cladistique, mettra du temps, plus de 10 ans, avant d'être reconnue par l'ensemble du monde scientifique, et pour cause.

Cette révolution, parce qu'elle est fondée sur les liens de parenté, et seulement eux, va faire « disparaître » de la classification traditionnelle certains regroupements comme les invertébrés, les reptiles, les poissons, car ils ne reflètent aucune réalité strictement phylogénétique.

Elle va ainsi mettre fin aux grands mythes, teintés d'anthropocentrisme, ayant marqués l'histoire de la biologie :

- Fin du « progrès » évolutif et de la « complexité croissante » : l'évolution n'est pas une marche vers le « progrès », l'organisation du vivant n'est pas linéaire
- Fin du concept « d'espèce primitive » : tous les êtres sont aussi évolués,
- Fin de l'anthropocentrisme : l'homme n'est pas au sommet de la classification,

LA CLASSIFICATION DU VIVANT – Pourquoi ça change ?

- Fin de la finalité : l'évolution n'a pas pour but l'émergence de l'espèce humaine,
- Fin du concept de « fossile vivant » : il n'y a pas d'espèce vivante ayant cessé d'évoluer. Autrement dit, une espèce fossilisée est une espèce éteinte, ayant cessé d'évoluer. Sa lignée est éteinte.
- Fin du concept « de chaînon manquant » : il n'y a pas « d'intermédiaire » au sens généalogique du terme. Un intermédiaire n'est pas un ancêtre,
- Et beaucoup plus tard, dans les années 2000, fin du concept de plan d'organisation.

Les tous premiers arbres du vivant ont été réalisés à partir des observations faites en anatomie et embryologie comparées ainsi qu'en paléontologie. A partir des années 60, la mise en pratique généralisée et informatisée de la méthode cladistique avec ce type de données, a permis de préciser les liens de parentés en établissant des groupes, taxons, monophylétiques. C'est ainsi que, dans les années 80, des groupes comme Poissons, Reptiles, Invertébrés, mais encore Protistes, Acœlomates, Pseudocœlomates ont disparu des classifications, tandis que d'autres, comme Protostomiens, Deutérostomiens, Chondrichthyens, Actinoptérygiens, Oiseaux, Mammifères, ont été confirmés.

2.2.1 A propos du plan d'organisation :

Le plan d'organisation représente un plan anatomique de base défini par la polarité du corps (axes antéro-postérieur, dorso-ventral...), les plans de symétrie, la position des organes et les relations qui existent entre eux. Il se met en place dès la segmentation de l'œuf.

De ce fait, les zoologistes le reconnaissaient comme un critère pertinent pour classer les êtres vivants entre eux car il semblait être partagé par tous les organismes d'un taxon, au niveau du phylum, de l'ordre, ou de la classe. De plus, ils pensaient qu'un organisme ne pouvait en changer au cours de son développement.

Il était donc profondément ancré chez les zoologistes et c'est ainsi que furent créés, au début des années 2000, les Echiuriens, phylum à part entière, basé en partie sur l'absence de métamérisation.

Mais la systématique phylogénétique les rattache désormais aux Annélides profondément métamérisés ; la métamérie des Echiuriens ayant été perdue secondairement au cours de leur développement. Ce serait des Polychètes très dérivés.

Ainsi, l'organisme avec son plan d'organisation, n'est plus vu comme un tout immuable, mais comme une mosaïque de caractères pouvant évoluer. Le plan d'organisation n'est plus un concept évolutif pertinent.

2.3 Les caractères perdus secondairement :

En reprenant l'exemple des Echiuriens et des Annélides, les scientifiques ont pu déterminer que l'absence de métamérisation des Echiuriens était due à la perte secondaire de celle-ci. La métamérisation était bien présente à un stade précoce mais elle disparaissait au cours du développement de l'organisme, d'où le nom de perte secondaire.

Or, grâce aux nouvelles données moléculaires servant à établir les liens de parenté, on sait aujourd'hui que ce phénomène n'est pas rare au cours de l'évolution. De ce fait, en présence d'un caractère ayant évolué, les scientifiques doivent déterminer s'il s'agit d'une véritable nouvelle innovation évolutive ou s'il s'agit d'une perte secondaire.

Selon la réponse, les liens de parenté s'en trouvent modifiés, la classification aussi. C'est ce qui s'est passé avec les Echiuriens, mais aussi avec les Acœlomates et les Pseudocœlomates, 2 groupes qui ont été abandonnés à la suite des études phylogénétiques modernes basées sur l'analyse des ARNs ribosomiques (*) des Eucaryotes, l'ARN18s. Tous les Bilatériens triploblastiques sont des Cœlomates qui se sont par la suite simplifiés chez les Protostomiens.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT – Pourquoi ça change ?

(*) Les ribosomes des Eucaryotes sont composés d'ARN dont l'ARN18s. Les ribosomes permettent de traduire le code génétique en protéines.

2.4 L'apport de la biologie moléculaire

Tandis que les premières classifications cladistiques voient le jour à partir des données morphologiques et anatomiques connues, la génétique prend son essor et on décrypte le rôle de l'ADN dans l'hérédité : du « pain béni » pour la systématique phylogénétique.

A partir des années 80, lorsque la génétique s'intéressera aux mécanismes moléculaires de la transmission des caractères, un nouveau type de caractères sera employé pour l'application de la méthode cladistique : les caractères génétiques ou moléculaires, en plus des caractères morphologiques.

De nouvelles bases de données voient le jour et prennent en compte la séquence des protéines ou celle des acides nucléiques, l'ADN ou l'ARN et aujourd'hui, compte tenu, entre autres, de la puissance de calcul informatique, ces séquences de données peuvent se rapporter au transcriptome (ensemble des ARNs) ou au génome complet des organismes.

Outre les gènes des ARN ribosomiques des procaryotes (ARNr16S) et des eucaryotes (ARNr18S), d'autres gènes impliqués dans l'embryogénèse sont également utilisés, tels les gènes *Hox*, responsables de la mise en place des structures (cellules, tissus, organes et membres) le long de l'axe antéro-postérieur (devant-derrrière) des animaux.

Génomique et embryogénèse ont ainsi donné naissance à une nouvelle discipline de la biologie évolutive, l'Evo-Dévo, ou biologie évolutive du développement, particulièrement dynamique en ce début du XXIème siècle.

Ces nouvelles données moléculaires sont plus nombreuses et plus faciles à acquérir que les données morpho-anatomiques. Les séquençages d'ADN ou de génomes entiers sont de plus en plus rapides et de moins en moins onéreux.

Elles permettent de comparer des êtres vivants préalablement incomparables par leur seule morphologie, et ainsi de défricher des pans entiers de l'arbre de la vie. La phylogénie moléculaire était née.

A la fin des années 90, la classification du monde vivant, l'arbre de vie du vivant, paraissait en bonne voie de résolution. On touchait du doigt l'ancêtre commun à l'ensemble du vivant, LUCA, the Last Universal Common Ancestor.

On semblait être en mesure d'établir une phylogénie cohérente des organismes vivants à partir des arbres construits avec l'ensemble de ces données moléculaires.

Mais, c'était sans compter avec les transferts horizontaux des gènes...

2.5 Le transfert horizontal des gènes

Avec les progrès de la biologie moléculaire, et notamment le traitement de génomes complets, la phylogénomique a fait émerger de nombreuses incohérences dans les phylogénies construites.

En effet, il était devenu flagrant que l'ensemble des gènes ne se transmettaient pas uniquement de génération en génération par reproduction sexuée (transfert dit vertical). Certains, surtout ceux impliqués dans le métabolisme, pouvaient s'échanger entre organismes non apparentés ; ce transfert de gènes est dit horizontal.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT – Pourquoi ça change ?

Ces transferts horizontaux sont particulièrement importants chez les microorganismes. C'est ainsi qu'il a été découvert que la cellule eucaryote est une cellule chimérique, provenant d'une fusion d'au moins une archée et une bactérie, augmentée plus tard d'endosymbioses bactériennes. (Travaux du microbiologiste américain Carl WOESE)

Ces transferts horizontaux se font probablement via les virus.

Pour en savoir plus <https://medias.pourlascience.fr/api/v1/files/5a82ab5e8fe56f4a5943cb5c?alt=file>

Ces transferts horizontaux ont provoqué un véritable séisme à tel point que l'on pouvait lire le 24 janvier 2009 en couverture du magazine britannique New Scientist : « Darwin was wrong » – « Cutting down the tree of life » – « Darwin avait tort » – « Abattre l'arbre du vivant ». La fin des arbres de parenté paraissait imminente, car ils ne capturaient pas toute l'histoire des gènes.

Et il est vrai que dans un premier temps, pour construire une phylogénie, ces gènes ainsi transmis furent carrément mis à l'écart. Mais au fur et mesure que le nombre de données génétiques de nouvelles espèces devenaient disponibles, il s'avéra impossible d'ignorer le transfert horizontal dans les études phylogénétiques. De nouvelles méthodes furent alors développées à partir d'un concept nommé « réconciliation phylogénétique ». Le transfert horizontal, s'il est modélisé et pris en compte dans les méthodes phylogénétiques, est utilisable comme toute autre mutation de l'ADN pour construire et enrichir l'arbre du vivant.

La notion de « première cellule » appelée LUCA, Last Universal Common Ancestor, est alors abandonnée à la suite de l'étude de ces nombreuses séquences moléculaires. Il était devenu incontournable que les génomes des eucaryotes et des archées étant chimériques, ils ne peuvent être issus d'une généalogie.

Les archées, bactéries, eucaryotes semblent être issues d'un « monde progénote », constitué de cellules primitives ayant toutes contribué à l'émergence de ces 3 grands domaines et dont il reste tout à découvrir.

Evolution de l'arbre du vivant

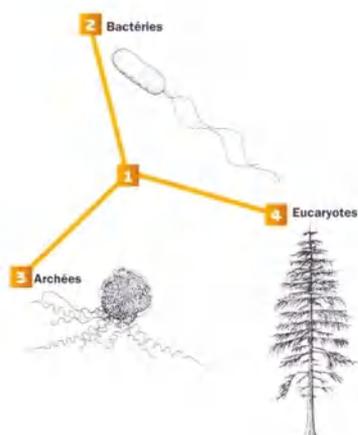


Fig.1

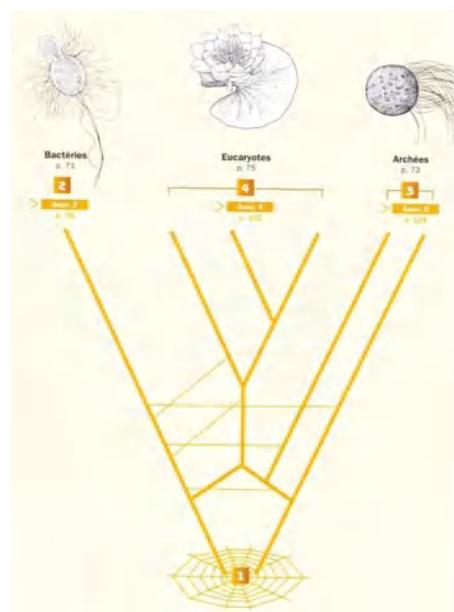


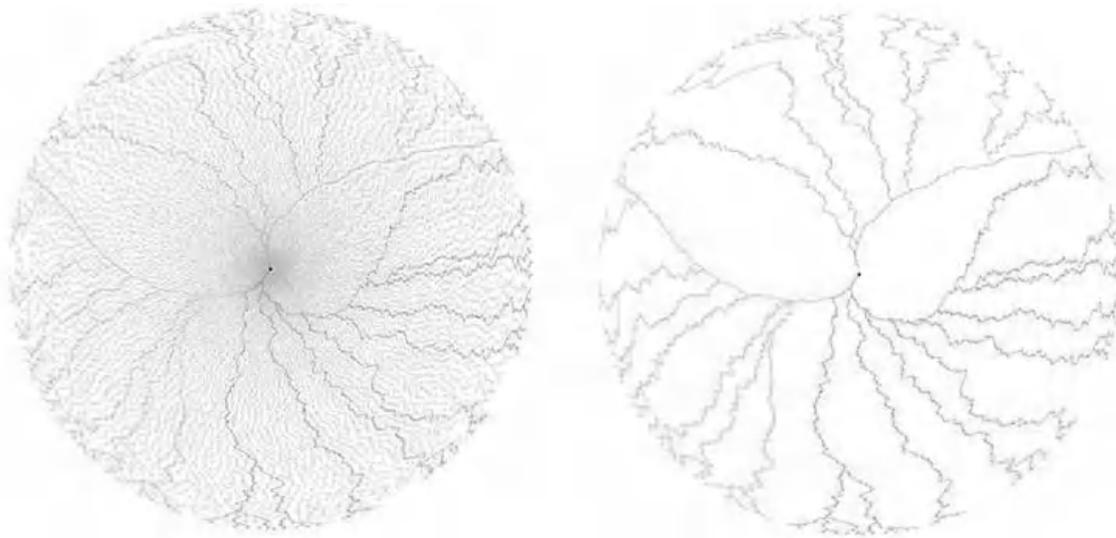
Fig. 2

Source :

Classification phylogénétique du vivant – G. LECOINTRE, H. LE GUYADER

Fig. 1 : 3^{ème} édition © Editions Belin 2001 – Fig. 2 : 4^{ème} édition © Editions Belin 2016

Comparaison arbres avec ou sans transfert de gènes et fossiles :



Source :

© Pour la Science - n° 506 - Novembre 2019 – Quand les branches du vivant s'entremêlent.

« Deux visions de l'arbre du vivant obtenues par des simulations, orientées du centre vers les extrémités : à gauche, un arbre qui contiendrait toutes les espèces ayant existé sur Terre ; à droite, la partie que l'on peut construire à partir des espèces actuelles connues, en l'absence de fossiles et de transferts de gènes. » © Wandrille Duchemin et Damien de Vienne, licence CC-BY-NC.

Si les transferts horizontaux existent bel et bien chez les microorganismes, on en découvre aussi chez les macroorganismes.

On peut citer l'exemple des graminées du genre *Alloteropsis* ayant acquis des gènes lui permettant de s'adapter aux milieux chauds (*Adaptive Evolution of C₄ Photosynthesis through Recurrent Lateral Gene Transfer* – Etude publiée en 2012 par Guillaume Besnard – CNRS Université Paul Sabatier Toulouse) ou bien encore plus récemment, l'exemple de l'aleurode du tabac (*Bemisia tabaci*), petite mouche blanche qui provoque des dégâts considérables sur les cultures (coton, tabac, tomate, patate douce, poivron...). Cet insecte a « ingéré » dans son génome nucléaire, un gène d'une plante lui permettant de rendre inoffensives les toxines de défense produites par les plantes dont il se nourrit (*Whitefly hijacks a plant detoxification gene that neutralizes plant toxins* – Etude publiée en mars 2021 par Youjun Zhang et ses collègues de l'Académie des sciences agricoles de Chine).

Ces transferts horizontaux permettent également de renseigner sur les relations géographiques et écologiques entre espèces ou populations passées, puisque ce type de transfert nécessite une proximité entre le donneur et le receveur.

C'est ainsi que la notion de transfert horizontal a amené à repenser le vivant en termes non plus de phylogénie, mais de réseau.

2.6 De nouvelles méthodes d'analyse morpho-anatomiques :

Malgré le fort développement des données moléculaires, de nouvelles méthodes d'analyse à partir de données morpho-anatomiques voient également le jour dans les années 1990 et 2000.

Ainsi les caractères issus de l'étude ultrastructurale des spermatozoïdes, c'est-à-dire l'étude des structures cellulaires infinitésimales, visibles uniquement grâce à un microscope électronique, sont

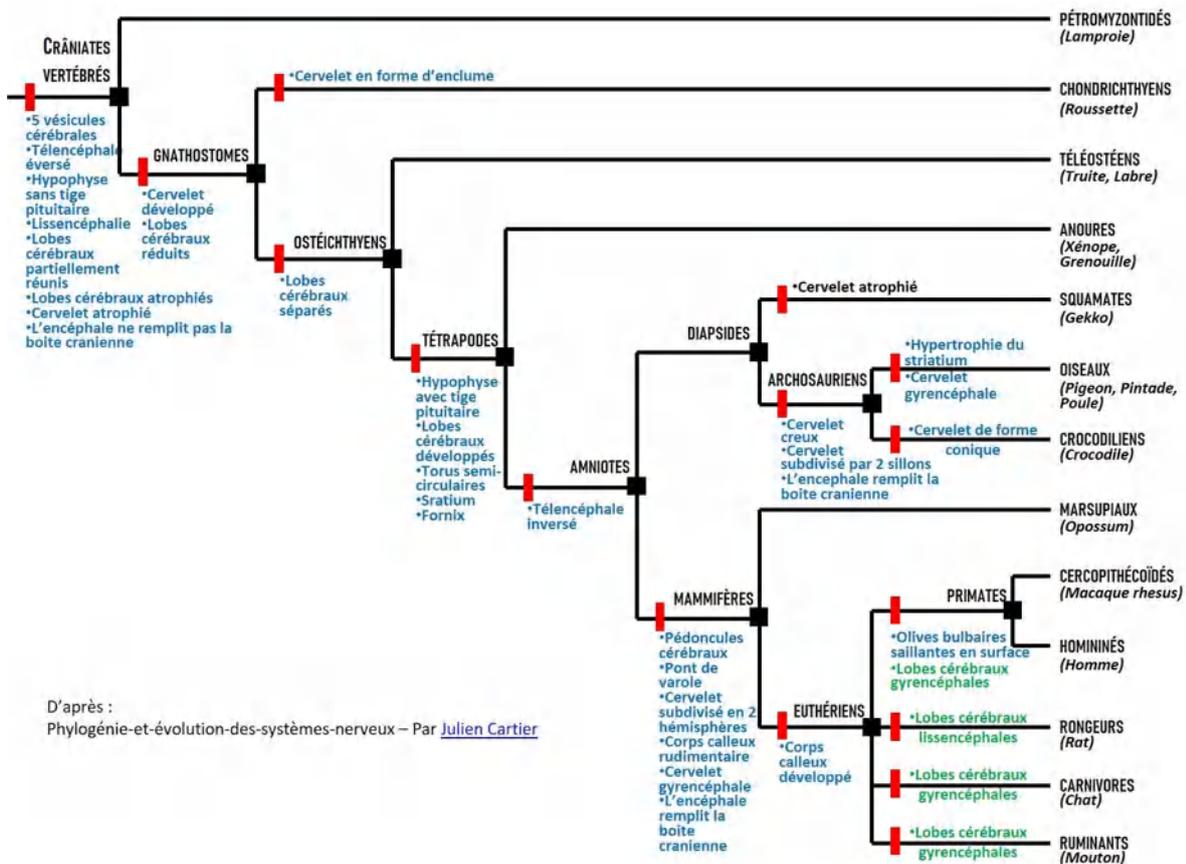
LA CLASSIFICATION DU VIVANT – Pourquoi ça change ?

utilisés à des fins phylogénétiques. Cette « spermiocladistique » a été appliquée aux Plathelminthes, Annélides, Arthropodes et Gastrotriches.

Un autre domaine d'études, plus récent, est aussi utilisé en systématique animale. Il s'agit de la « neurophylogénie ». En étudiant la structure et le développement du système nerveux de différents organismes, il est possible de construire une phylogénie. Cette méthode a été utilisée en particulier chez les Arthropodes, et, avec les données moléculaires, elle a permis de rapprocher les Hexapodes de leurs homologues Crustacés.

Données moléculaires et données morpho-anatomiques se complètent donc et s'enrichissent. Elles permettent de consolider et valider les reconstructions phylogéniques à partir de caractères totalement différents d'un même échantillon d'organismes à analyser.

Par exemple, l'arbre ci-dessous retrouve les liens de parenté des vertébrés établis à partir des caractères morpho-anatomiques de l'encéphale.



Source :

Phylogénie-et-évolution-des-systèmes-nerveux – Par [Julien Cartier](#) — Dernière modification 03/11/2015 14:46
Arbre phylogénétique des vertébrés établi à partir de caractères morpho-anatomiques de l'encéphale signalés par les ouvrages d'anatomie comparée référencés dans la bibliographie du dossier.

<http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/neurosciences/actualisation-des-connaissances/phylogenie-et-evolution-des-systemes-nerveux/comprendre/arbres-phylogenetiques/arbre%203.jpg/view>

2.7 Toujours plus de groupes monophylétiques :

Ces changements sont, certes, induits par les sciences, les techniques, les méthodes, notamment informatiques, qui évoluent et s'affinent de plus en plus, mais également par la volonté, partagée par la communauté scientifique, de ne déterminer que des groupes monophylétiques c'est-à-dire déterminer un groupe avec un ancêtre commun exclusif et la totalité de tous ses descendants.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT – Pourquoi ça change ?

Ainsi, tous les groupes, quel que soit leur niveau hiérarchique (classe, ordre, famille...) sont passés en revue. Les groupes paraphylétiques (un ancêtre commun et une partie seulement de ses descendants) sont « traqués » et sont analysés pour être réorganisés en groupes monophylétiques.

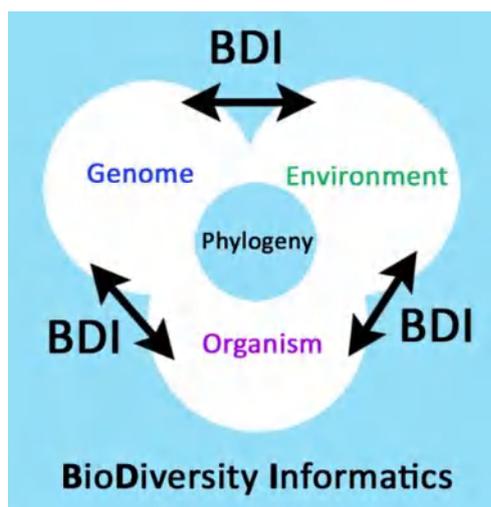
On peut citer par exemple, la classe des Gastéropodes, auparavant divisée en 3 sous-classes, Prosobranches, Opisthobranches, Pulmonés, aujourd'hui divisée en 6 : Patellogastropodes, Vétigastropodes, Neomphaliones, Néritimorphes, Caenogastropodes et Hétérobranchés, la paraphylie des Opisthobranches étant avérée.

Toutefois, il est possible que les nouveaux groupes ainsi constitués, soient à nouveau considérés comme paraphylétiques. Auquel cas, une nouvelle « moulinette » est mise en œuvre jusqu'à n'avoir que des groupes monophylétiques.

2.8 A propos de la Bioinformatique :

Tous ces travaux n'auraient pu voir si vite le jour, si la puissance de calcul des ordinateurs et des algorithmes informatiques n'avait autant progressé. Ces énormes progrès permettent aux scientifiques d'avoir accès à un nombre croissant de données sur la diversité, les variations des gènes, les génomes, les organismes et l'environnement en général. Tout cela contribue à déterminer de plus en plus précisément les degrés de parenté entre les organismes vivants.

Revers de la médaille, les données se complexifiant, les algorithmes doivent s'adapter en permanence sous peine de créer des biais informatiques (artéfacts) dans la construction des arbres.



Source :

<https://fr.Wikipedia.org/wiki/Bio-informatique>

© 2013 Losos et al.

Losos JB, Arnold SJ, Bejerano G, Brodie ED III, Hibbett D, Hoekstra HE, et al. (2013) Evolutionary Biology for the 21st Century. PLoS Biol 11(1): e1001466. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001466>,

Published: January 8, 2013

2.9 Vers une nouvelle phylogénie ?

D'autres domaines de recherche ont apporté leurs contributions en termes d'évolution.

Ainsi l'épigénétique, c'est-à-dire l'étude de l'ensemble des changements dans l'expression des gènes, telle la méthylation de l'ADN. Ces changements sont transmissibles au fil des divisions cellulaires, voire des générations, et ne modifient pas la séquence d'ADN.

L'éthologie, l'étude des comportements des espèces animales, a quant à elle révélé l'influence de la culture dans la sélection naturelle. L'exemple des Orques (*Orcinus orca*) illustre ce phénomène. Ces Cétacés vivent en général en groupes, chassent ensemble et se nourrissent soit de poissons, soit de phoques. Or les techniques de chasse sont bien différentes et, surtout, elles sont apprises. Ainsi, un adulte qui a appris à chasser les poissons ne sait pas chasser les phoques et *vice versa*. Cela signifie qu'un orque vivant dans un groupe ichtyophage ne peut rejoindre un groupe chasseur de phoques. Cela entraîne ainsi un isolement reproducteur, que l'on retrouve dans la génétique des populations.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT – Pourquoi ça change ?

Ce comportement acquis par apprentissage, cette culture, agit donc comme composante de la sélection naturelle.

L'écologie semble être aussi une des composantes majeures de l'évolution. En effet, il est apparu que les propriétés évoluées d'un organisme (comportement, métabolisme...) transforment certains aspects de son environnement, lesquels agiront à leur tour comme nouveaux paramètres de la sélection naturelle, orientant ainsi la future évolution des populations. On peut citer l'exemple des organismes photosynthétiques, tels les cyanobactéries il y a quelques 2,2 milliards d'années, qui ont modifié l'atmosphère primaire terrestre réductrice par une atmosphère oxydante (accumulation du dioxygène). Ainsi le métabolisme de certains organismes vivants a transformé un milieu, ce qui va changer certains paramètres biophysiques de la sélection naturelle et agir sur l'évolution des populations.

Au carrefour de tous ces domaines scientifiques, il apparaît sans équivoques, que le monde du vivant est complexe, mais parfaitement organisé. L'organisme ne peut plus être vu de manière isolé mais peut être vu au sein d'un système.

Les données ainsi acquises peuvent s'organiser en 3 niveaux différents : génomique, organique et écologique, parfaitement imbriqués les uns dans les autres.

Pour « détricoter » et ordonner tout cela, un concept et une méthode existent. Il s'agit de la mathématique des réseaux et de la théorie des graphes.

Ainsi pour étudier l'évolution, les arbres de lignées montrant les liens de parenté pourraient être remplacés par des réseaux les englobant dans un ensemble plus large et représentant des organisations et des fonctionnements.

Il reste toutefois à développer une science des réseaux qui permettra de penser les processus génétiques et les interactions mais aussi une méthode pour comparer les graphes entre eux.

Les défis sont considérables.

Pour en savoir plus : « Tous entrelacés ! Des gènes aux super-organismes : les réseaux de l'évolution » de Eric BAPTESTE aux éditions Belin.

2.10 Conclusion : une phylogénie peut en cacher un autre :

La reconstruction d'un arbre phylogénétique reflétant l'arbre du vivant n'est pas une mince affaire. Une étude critique des concepts, des théories, des principes, des méthodes, mais aussi, des pratiques, des résultats, est systématiquement menée pour valider l'arbre ainsi reconstruit.

Une classification phylogénétique doit refléter au mieux la phylogénie pour être cohérente avec la théorie de l'évolution. Mais l'arbre obtenu n'est pas l'arbre VRAI du vivant, seulement une hypothèse du moment, la plus plausible et la plus partagée.

Loin d'être une gymnastique spéculative de l'esprit, cette reconstruction est au contraire une étape obligée dans la compréhension des mécanismes évolutifs qui ont conduit à la diversité – actuelle et fossile – du monde vivant.

Chaque phylogénie proposée aujourd'hui n'est donc pas définitive : elle ne constitue en fait qu'une étape, différente et plus précise que la précédente.

Ça promet pour nos formations Bio... Pas facile à suivre, si ça change tout le temps !

Mais peut-on enseigner des choses qui ne sont plus ?

3. LA NATURE DES CHANGEMENTS :

3.1 Note importante :

La 4^{ème} édition revue et corrigée de *La Classification phylogénétique du vivant* (Tomes 1 et 2) par Guillaume LECOINTRE et Hervé Le GUYADER, aux éditions Belin, est la référence des arbres présentés dans ce mémoire. Cette 4^{ème} édition rend compte de l'état de l'art de la classification en 2016.

Ces arbres ont été évidemment simplifiés pour une meilleure lisibilité. Ils présentent toutefois les changements essentiels survenus à cette date, dans la classification des végétaux et animaux marins. Certaines branches « marines » ont été ôtées pour ne laisser que les plus couramment abordées pendant les formations PB1 et PB2. C'est ainsi que, par souci de simplification, certains groupes tels les Chætognathes, les Rotifères, les Entoproctes, les Hémichordés, n'apparaîtront pas dans les arbres qui suivent. Parfois, au contraire, certains animaux terrestres ont été ajoutés afin de resituer dans un contexte plus global, l'évolution des animaux subaquatiques.

Ces suppressions ou ajouts ont été faits sans modifier autant que faire se peut, les relations hiérarchiques des groupes restants et sans altérer leurs significations évolutives. Pour retrouver les arbres complets, il faudra se référer à l'édition citée ci-dessus.

Celle-ci date donc de 2016 et il faut savoir que depuis fin 2019 début 2020, des travaux d'analyses phylogénétiques notamment chez les Protostomiens, ont été publiés apportant modifications et précisions à propos de leur classification. Ils seront évoqués mais ils ne sont pas pris en compte dans les arbres présentés.

Pour en savoir plus sur ces nouvelles évolutions, il faudra se référer au livre, en anglais, *The Invertebrate Tree Of Live*, de Gonzalo GIRIBET et Gregory D. EDGEcombe, édité début 2020 par Princeton University Press.

3.2 Lecture et interprétation des arbres présentés :

Chaque intersection ou nœud d'un arbre représente un ancêtre (ou une population ancestrale) hypothétique, commun et exclusif, illustrée par un rond orange cerclé de rouge  dans l'exemple ci-dessous. Ce symbole ne sera pas repris dans les arbres présentés.

Cet ancêtre est totalement hypothétique car il est déduit, inféré, des caractères de ses descendants.

Ces caractères ancestraux et évolués (innovations évolutives) sont apparus sur la branche de l'arbre conduisant à cet ancêtre. A partir de cet ancêtre (ou nœud), une divergence va s'observer entre ceux qui vont avoir acquis une nouveauté évolutive et ceux qui ne l'acquerront pas ou qui en acquerront une autre.

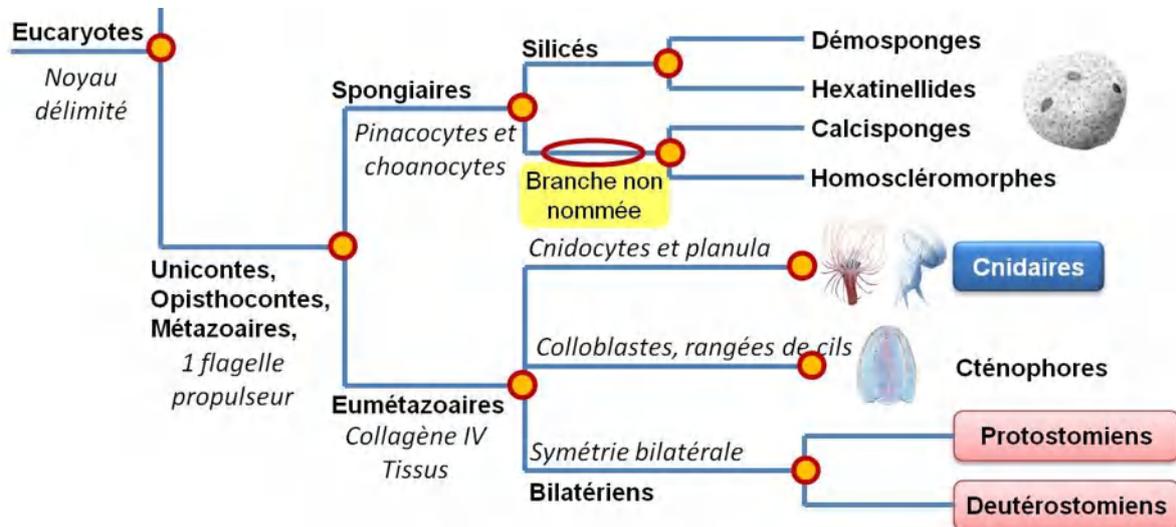
Deux ou plusieurs groupes peuvent partager un ancêtre commun. On dit alors qu'ils sont frères. Ce dernier ancêtre commun se situe au nœud à la base de ces deux (ou plusieurs) groupes.

Chaque fois que possible, sont indiqués les caractères exclusifs principaux les plus caractéristiques, essentiellement les innovations évolutives de cette branche menant à cet « ancêtre ». D'autres informations sont données ensuite dans la description de chaque groupe (cf. légende de l'arbre). Toutefois, les caractères moléculaires issus des gènes, voire de protéines ne sont pas indiqués dans un souci de simplification.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

La lecture d'un arbre peut se faire de façon ascendante, de la droite vers la gauche, ou bien descendante de la gauche vers la droite. Toutefois dans le sens descendant, la prudence est de mise car tous les lignées « descendantes » ne sont pas représentées. C'est pourquoi, il vaut mieux favoriser la lecture ascendante dans ces arbres simplifiés.

Exemple :



Dans l'extrait ci-dessus, de façon ascendante : les Protostomiens et les Deutérostomiens sont issus du groupe des Bilatériens. Ceux-ci sont issus des Eumatozoaires, au même titre que les Cnidaires et Cténophores. Les Eumatozoaires sont issus du groupe des Métazoaires de même que les Spongiaires. Les Métazoaires sont issus des Opisthocontes, Unicotes tous issus des Eucaryotes. Leurs caractères exclusifs principaux les plus caractéristiques sont indiqués en italique.

De façon descendante :

Les Eucaryotes ont donné naissance à la lignée des Unicotes, Opisthocontes et des Métazoaires, mais aussi des Bicontes. Les Métazoaires ont engendré deux lignées, les Eumatozoaires et les Spongiaires. Mais il en existe une 3^{ème} lignée, non représentée, les Placozoaires. Ces organismes bien que marins, ne sont pas pris en compte, car inobservables en plongée.

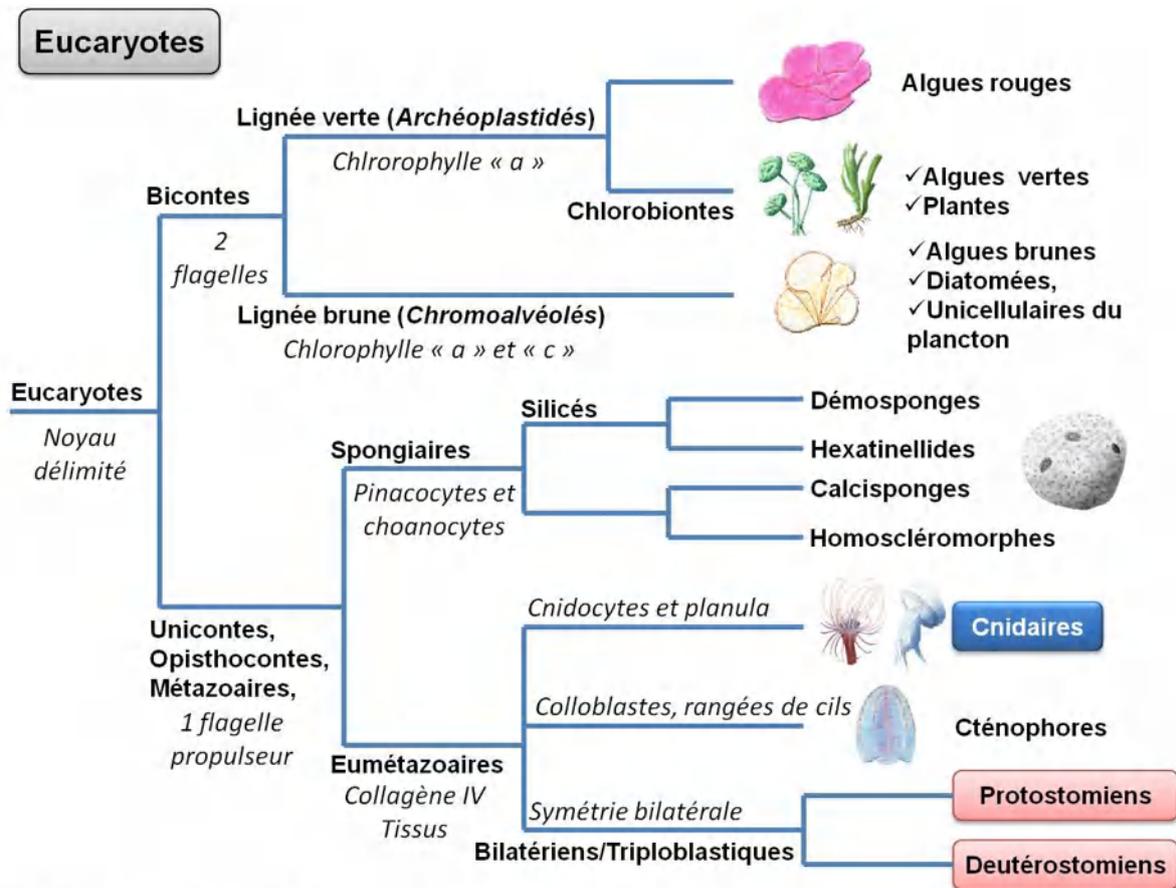
Certaines branches, certains nœuds ne sont pas nommés par soucis de simplification. Il peut y avoir 3 raisons à cela :

- L'ancêtre commun exclusif porte la mention « clade non nommé » dans les arbres du livre *La Classification phylogénétique du vivant*.
- Les caractères sont uniquement issus de données moléculaires.
Exemple : « Les données de séquences du facteur d'élongation 1-alpha, de l'aldolase, de la catalase, [...] et de la phosphofructokinase regroupent les Gastéropodes et les Bivalves ainsi que celles de 308 gènes orthologues » fin de citation.
- Les arbres présentés ont été simplifiés pour mettre en évidence principalement les organismes marins. En conséquence certaines branches ont été supprimées et l'on passe directement, par exemple :
 - ✓ Chez les Arthropodes : de Altocrustacés vers Multicrustacés sans mentionner les Véricrustacés, qui regroupe Multicrustacés et Branchiopodes autres petits crustacés vivant dans les eaux douces et stagnantes, parfois temporaires tels les *Triops*, ou bien, dans des milieux à salinité variables, telles les artémies.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

- ✓ Chez les Tétrapodes : de Thériens vers Afrothériens sans mentionner les Euthériens et les Epithériens.

3.3 Les Eucaryotes :



D'après la 4^{ème} édition Classification phylogénétique du vivant T1&T2 – Leconte et Guyader - 2016

Dans l'arbre des Eucaryotes, pour ce qui nous concerne en tant que plongeurs, il y a peu de changement. Seule l'ajout d'une classe supplémentaire aux Spongiaires, les Homoscléromorphes, est à noter.

Les Homoscléromorphes étaient auparavant considérées comme étant une famille des Démospouges du fait de la présence de spicules siliceux tétractines. Les phylogénies moléculaires en ont décidé autrement, notamment à cause d'une lame basale doublant le pinacoderme et le choanoderme. Cette lame basale est interprétée comme une convergence avec celle des Eumatozoaires. Chez ces derniers, cette lame permet l'adhérence des cellules aux tissus sous-jacents et constitue une interface entre les cellules et l'intérieur de l'organisme pour la régulation et la diffusion des nutriments.

Cette nouvelle classe se divise en 2 taxons : les Oscarellidés qui ne contiennent aucun spicule et les Plakinidés qui contiennent des spicules tétractines de petite taille ne formant pas un squelette organisé.

Un doute subsiste sur la position des Cténophores. Certains zoologistes pensent refaire le groupe des Cœlentérés avec les Cnidaire. D'autres pensent qu'il s'agit d'un groupe frère des Anthozoaires ; d'autres enfin pensent qu'ils sont proches des Plathelminthes, voire même des Deutérostomiens. Il est donc probable que la position indiquée soit remise en cause.

3.3.1 Légende arbre Eucaryotes :

Eucaryotes : Leur ADN est contenu dans un noyau délimité par une enveloppe nucléaire. Ces cellules contiennent dans leur ADN toutes les informations nécessaires pour créer des organismes unicellulaires ou multicellulaires qui vont évoluer et évoluent encore depuis des millénaires.

Bicontes : Leurs cellules libres présentent 2 flagelles uniquement

Archéoplastidés (lignée verte) : Ils rassemblent les descendants directs de l'organisme qui a effectué la première endosymbiose chloroplastique. C'est la lignée verte. Le chloroplaste (organisme cellulaire dans lequel se déroule la photosynthèse) contient de la chlorophylle « a ».

Chromoalvéolés (lignée brune) : Ils rassemblent, entre autres, les phéophycées (algues brunes) et les bacillariophycées (diatomées) et d'autres groupes, certains non photosynthétiques tels les foraminifères et les radiolaires.

Le chloroplaste des organismes photosynthétiques provient d'une endosymbiose secondaire à partir d'un unicellulaire eucaryote issu des Rhodophytes. Le chloroplaste contient de la chlorophylle « a » et « c ».

Chlorobiontes : Ils regroupent les algues vertes et les plantes terrestres.

Unicontes : Leurs cellules libres présentent un unique flagelle.

Opisthocontes : Leurs cellules flagellées possèdent toujours un flagelle propulseur en situation postérieure.

Métazoaires : Ce sont des animaux pluricellulaires. Le collagène qui constitue la trame fondamentale de la matrice extracellulaire permet de grouper les cellules entre elles. Il contribue ainsi à la construction, l'architecture et la morphologie des organismes pluricellulaires animaux. La méiose (reproduction sexuée) donne directement des gamètes et non des spores contrairement aux végétaux. Le gamète mâle, le spermatozoïde, possède un unique flagelle postérieur propulseur, d'où leur appartenance au groupe des Opisthocontes/Unicontes.

Spongiaires : Ils possèdent une couche externe, le pinacoderme, composé de cellules appelés pinacocytes, et une couche interne, le choanoderme, composé de cellules flagellées, les choanocytes. Ce sont des animaux filtreurs. Ils possèdent un réseau de canaux internes, le système aquifère, conduisant l'eau à partir de pores inhalants (ou ostium) vers un pore exhalant (ou oscule) en passant par des chambres. Ce réseau de canaux peut être plus ou moins compliqué (forme ascon, sycon ou leucon). Le squelette de l'animal peut être réalisé, ou pas, par l'assemblage de spicules calcaires ou siliceux.

Silicés : Leurs spicules sont toujours de type siliceux.

Démospanges : Composés de spongine et parfois de spicules. La structure de leur réseau aquifère est uniquement de type leucon.

Hexatinellidés : Ce sont les éponges de verre, strictement marines et communes dans les eaux profondes bien que certaines ont été trouvées dans une grotte sous-marine près de la Ciotat. Leurs spicules, les hexactines, possèdent 3 axes principaux donc 6 pointes. Elles n'ont pas de couche cellulaire externe, le pinacoderme, formée chez les autres éponges par les pinacocytes.

Calcisponges : Exclusivement marines, leur squelette est composé de spicules calcaires. Leur réseau aquifère peut être de type ascon, sycon ou leucon.

Homoscléromorphes : Lorsqu'elles ont des spicules (groupe des Plakinidés), ceux-ci sont des spicules tétractines de petite taille ($1/10^{\text{e}}$ de millimètre au maximum) et ne forment pas un squelette organisé. Les pinacocytes sont flagellés. Le pinacoderme et le choanoderme sont doublés d'une lame basale avec du collagène, interprétée comme une convergence avec celle des Eumatozoaires.

Eumétazoaires : Les cellules de ces organismes vont donner naissance à des tissus qui vont à leur tour donner naissance à des organes. La matrice extracellulaire (ciment ou ciment intercellulaire) contient du collagène type IV et s'organise en lame basale assurant ainsi l'existence de véritables tissus. L'organisme est doté d'une cavité digestive différenciée. La gastrulation donne naissance à des feuilletts embryonnaires, l'ectoderme et l'endoderme, qui auront des devenir embryologiques précis (systèmes et organes). La différenciation cellulaire est poussée avec la formation de cellules musculaires, nerveuses, et sensorielles.

Cténophores : Ils sont caractérisés par leurs cellules adhésives particulières, les colloblastes, et par leurs 8 rangées de peignes, longues rangées de cellules ciliées s'irisant sous la lumière. La larve cydippide est caractéristique du taxon. Ils peuvent être pélagiques ou benthiques.

Cnidaires : Caractérisés par des cellules spécialisées propres à ce groupe, les cnidocytes, servant à l'attaque et à la défense, et, par une larve typique, la planula, à épiderme cilié. La classification des Cnidaires est détaillée §3.5.

Bilatériens : Symétrie bilatérale. L'animal présente deux axes de polarité, l'axe antéro-postérieur et l'axe dorso-ventral. L'axe antéro-postérieur est parallèle au sens de déplacement et au trajet des aliments dans le tube digestif, s'ouvrant à l'avant par la bouche et à l'arrière par l'anus. Un processus de céphalisation concentre, autour de la bouche, les organes des sens et les organes de préhension. Un troisième feuillet, le mésoderme, apparaît entre l'endoderme et l'ectoderme. Il comporte une cavité, le coelome, qui peut disparaître secondairement. Cette symétrie bilatérale est perdue secondairement à la forme adulte chez les Echinodermes (symétrie pentaradiée) et les Gastéropodes (torsion au stade larvaire).

Protostomiens : voir §3.3

Deutérostomiens : voir §3.4

3.3.2 Diploblastique ou triploblastique ?

Ces termes désignent une organisation des feuilletts embryonnaires issus de la gastrulation : l'endoderme, l'ectoderme et le mésoderme. Ces différents feuilletts sont constitués de cellules et donnent naissance à différents tissus, organes ou systèmes chez l'animal adulte. Par exemple, chez les Bilatériens, qui possèdent ces 3 feuilletts à l'état embryonnaire, l'endoderme donnera naissance en partie au système digestif, aux branchies, aux poumons ; le système nerveux et l'épiderme seront issus de l'ectoderme ; quant au mésoderme, il fournira entre autres, les tissus de soutien, les muscles, le système circulatoire, le sang...

C'est pour cette raison que les Bilatériens sont qualifiés de «triploblastiques» (3 feuilletts), alors que les Spongiaires, les Cnidaires et les Cténophores sont appelés «diploblastiques», car on pense traditionnellement que leurs tissus adultes ne proviennent que de deux feuilletts, l'endoderme et l'ectoderme. Ils sont séparés par une matrice riche en collagène appelée mésogée mais qui n'est pas considérée comme un tissu cellulaire à part entière bien que certaines cellules puissent y migrer.

Ce caractère, le nombre de feuilletts, a été souvent utilisé pour décrire une évolution animale vers la complexité et pour définir deux grands groupes d'animaux. On regroupait les Spongiaires, Cnidaires

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

et Cténophores dans un groupe appelé «diploblastique » (2 feuillets) et les Bilatériens en tant que triploblastiques (3 feuillets), donc plus complexes.

Aujourd’hui, cette vision de l’évolution n’a plus lieu d’être.

« Diploblastie » et « Triploblastie » ne peuvent désigner qu’une organisation embryonnaire. Si la « triploblastie » des Bilatériens est bien établie, il n’en va pas de même pour la « diploblastie ».

En effet, le débat sur la « diploblastie » ne fait que commencer. Ainsi, les travaux de Salinas-Saavedra et al. (2018), sur *Nematostella vectensis*, ou anémone étoilée (Anthozoaires/Actiniaires) permettent de suggérer que les Cnidaires possèdent la machinerie nécessaire pour élaborer une troisième couche telle que le mésoderme sans pour autant le former.

Les Cténophores, eux, ont des cellules musculaires mais pas de mésoderme qui aurait pu les produire comme chez les Bilatériens.

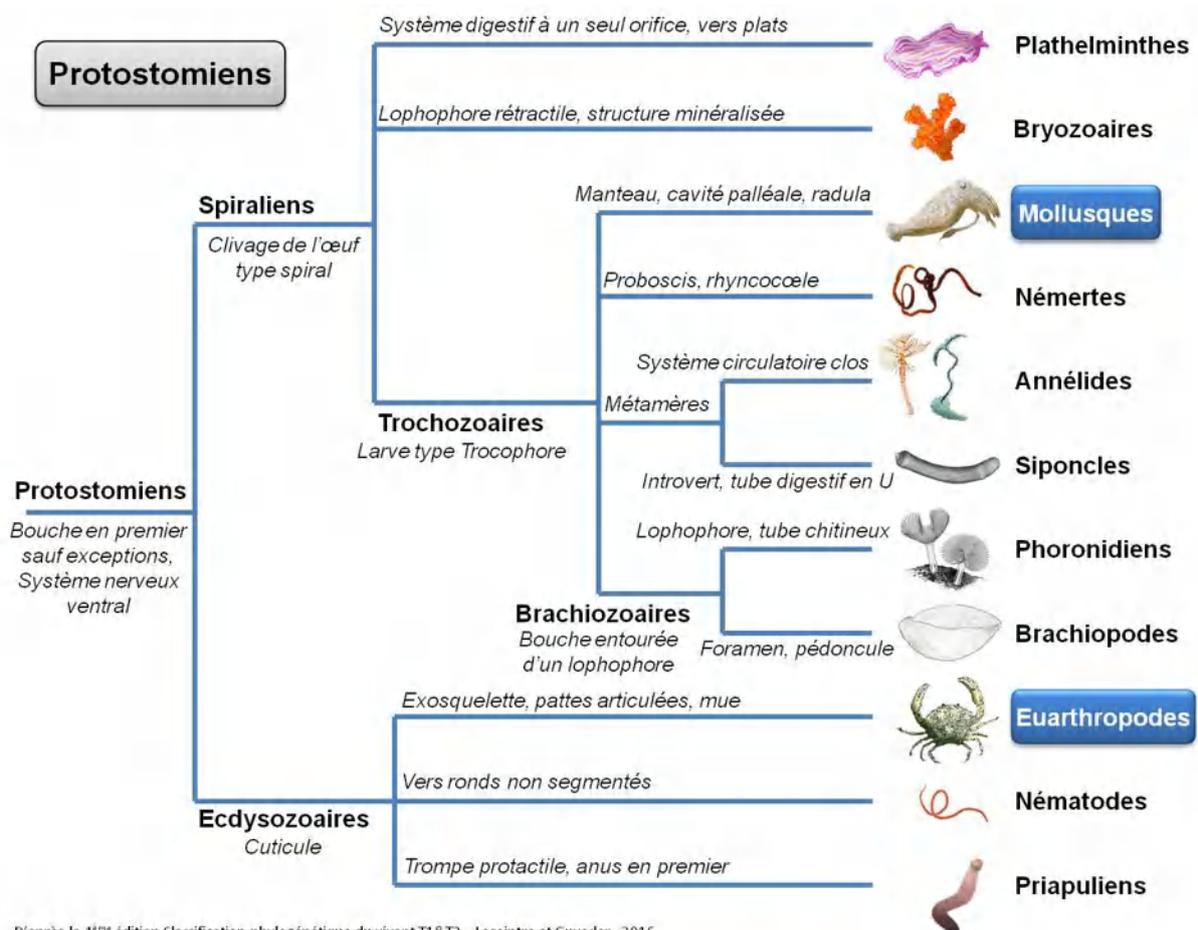
Quant aux Spongiaires, ils ont des ensembles de gènes liés à la formation des cellules nerveuses assez similaires à ceux des Cténophores, ce qui laisserait suggérer que les éponges possèderaient la machinerie génétique nécessaire au fonctionnement du système nerveux mais elles pourraient avoir perdu ces types de cellules...

De la sorte, les métazoaires pourraient être considérés comme tous primitivement triploblastiques, avec réduction ou fusion ultérieure des couches embryonnaires ; à moins que les Cténophores soient vraiment à part, leur système nerveux ainsi que leurs cellules musculaires ayant évolué de façon totalement indépendante de ceux des autres animaux.

Il faudra attendre d’autres analyses phylogénétiques pour lever toutes ces hypothèses. Le terme « diploblastique » est donc à utiliser avec circonspection et surtout pas pour désigner un groupe rassemblant les Spongiaires, Cnidaires et Cténophores, moins évolué que celui des Bilatériens.

Les termes diploblastique ou triploblastique ne peuvent donc désigner un taxon, au sens de la classification phylogénétique.

3.4 Les Protostomiens :



D'après la 4^{ème} édition Classification phylogénétique du vivant T1&T2 –Lecointre et Guyader -2016

La classification des Protostomiens est souvent remaniée à l'aune des dernières analyses des phylogénies moléculaires.

La dernière évolution de cette classification abandonne le groupe des Lophotrochozoaires, mais conserve les Ecdysozoaires, ces derniers présentant un caractère fort : la mue (ecdysis en grec ancien).

Quant aux Lophotrochozoaires, ils avaient été rassemblés sur des caractères moléculaires étant donné que le lophophore et la larve trocophore n'étaient pas réellement des caractères partagés exclusifs.

Il faudra attendre la fin des années 2010, lorsque les séquençages massifs de génomes complets vont faire apparaître en plus grand nombre des caractères moléculaires nouveaux, pour voir la classification des Lophotrochozoaires totalement remaniée.

Ils deviennent des Spiraliens car la segmentation spirale de l'embryon précoce semble être un véritable caractère partagé par l'ensemble des groupes réunis sous ce terme. Au sein des Spiraliens, on trouve le groupe des Trocophozoaires, qui apparaît stable.

Le groupe des Lophophorates est abandonné et se trouve éclaté en 2 groupes :

- les Ectoproctes (Bryozoaires) au sein des Spiraliens,
- les Brachiozoaires (Brachiopodes et Phoronidiens) au sein des Trochozoaires.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

D'autre part, des groupes non métamérisés tels les Echiuriens apparaissent au sein de groupes métamérisés (Annélides).

Il faut envisager que cette nouvelle classification des Protostomiens évoluera encore.

3.4.1 Légende arbre des Protostomiens :

Protostomiens : Littéralement : bouche en premier. Ce groupe a été historiquement caractérisé sur des critères embryologiques notamment le devenir du blastopore. Celui-ci donne la bouche lors du développement des Protostomiens. Aujourd'hui, il est démontré que ce caractère partagé est non exclusif puisque ce taxon contient également des organismes dont le développement embryonnaire est à caractère deutérostomien comme les Brachiopodes ou les Chætognathes. Malgré tout, d'autres singularités anatomiques ou moléculaires déterminent le caractère indéniablement monophylétique du taxon.

Leur système nerveux est de type orthogonal : les commissures nerveuses dorso-ventrales sont orthogonales aux différents cordons longitudinaux qu'ils relient.

Spiraliens : Le clivage de l'œuf est de type spiral, ce qui a entraîné le changement de nom du taxon, le terme « lophotrochozoaires » n'étant plus adapté, puisqu'il fait référence à un lophophore et une larve trochophore, 2 caractères qui ne sont pas partagés par l'ensemble des organismes ainsi regroupés.

Plathelminthes : Vers plats. Animaux triploblastiques ayant un système digestif souvent complexe et à une seule ouverture ventrale qui joue à la fois le rôle de bouche et d'anus. La symétrie est bilatérale et il y a une tête différenciée (début de céphalisation) avec des organes des sens simples sauf chez les espèces parasites.

Ectoproctes : ou Bryozoaires. Petits animaux coloniaux possédant un lophophore rétractile. Le système digestif est en forme de U. La bouche est située à l'intérieur de la couronne du lophophore. L'anus débouche antérieurement et en dehors de l'espace délimité par la couronne des tentacules du lophophore, d'où le nom du groupe.

Trochozoaires : Leur larve est de type trochophore. C'est une larve en forme de toupie, caractérisée par la présence d'une bande de cils locomoteurs en avant de la bouche, appelée prototroche. Cette larve évoluera de façon spécifique selon les taxons. Exemple : larve véligère des Mollusques.

Mollusques : Animaux possédant un tégument spécialisé, le manteau sécrétant des formations calcaires (spicules, plaques, coquilles). Le manteau forme un pli délimitant ainsi avec le pied une cavité, la cavité palléale. Cette cavité contient des organes chémorécepteurs, les osphradies, ainsi qu'une paire de branchies ciliées en forme de peigne, les cténidies. La bouche comporte la radula, structure chitineuse, dure et dentée sous forme de ruban, servant de « râpe » lorsque l'animal se nourrit. Leur symétrie bilatérale initiale peut être altérée secondairement par torsion. La classification des Mollusques est détaillée §3.6.

Némertes : ou vers rubanés. Ils possèdent un corps non segmenté recouvert de cils. Ils possèdent un proboscis, trompe dévaginable séparée du tube digestif et un rhynchocœle, cavité tubulaire hydrostatique entourant le proboscis. Les phylogénies moléculaires rapprochent les Némertes parfois des Annélides, parfois des Brachiopodes.

Annélides : Animaux fondamentalement métamérisés. La métamérie apparaît à un stade de la larve trochophore. L'altération de la métamérie est toujours secondaire. Le groupe contient les Echiuriens. Il y a débat pour y intégrer les Siponcles (ces animaux ayant perdu secondairement leur métamérie).

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

Les Annélides et les Echiuriens sont les seuls protostomiens (avec les mollusques céphalopodes) à avoir un système circulatoire clos.

Siponcles : Ver du sédiment possédant un introvert, segment rétractable se terminant antérieurement par une bouche entourée de tentacules ciliés. L'absence de métamérisation correspond à une perte secondaire. La segmentation précoce du système nerveux de la larve disparaît chez l'adulte. Certaines phylogénies moléculaires placent les Siponcles à l'intérieur du groupe des Annélides.

Brachiozoaires : Le Lophophore de ces animaux entoure exclusivement la bouche. Les tentacules ciliés du lophophore sont pourvus d'extensions coelomiques.

Brachiopodes : Le corps de l'animal est contenu dans une coquille composée de 2 valves orientées dorso-ventralement. La valve ventrale possède un foramen, trou de passage du pédoncule souple qui fixe l'animal au substrat. La coquille est sécrétée par une extension de la paroi corporelle, le manteau, non homologue à celui des mollusques. Certains Brachiopodes ont un développement deutérostomique.

Phoronidiens : Le corps est enfermé dans un tube chitineux parfois recouvert par des grains de sable. Le lophophore peut se rétracter dans le tube. Le tube digestif est en U mais l'anus débouche dorsalement et à l'extérieur du lophophore. La larve actinotroche est caractéristique du groupe.

Ecdysozoaires : Leur cuticule, formée de 3 couches, contient de la chitine. Ils réalisent leur croissance par des mues successives sous le contrôle d'hormones ecdystéroïdes.

Euarthropodes : Animaux dont le corps et les pattes sont segmentés. Cette segmentation (métamérie) peut s'altérer au cours de l'évolution du groupe et différents segments peuvent s'assembler pour donner des structures plus complexes. Ils possèdent un squelette externe dur et portent à chaque segment des appendices pairs pourvus de griffes à leurs extrémités. L'exosquelette, est subdivisé en plaques, les sclérites, articulées entre elles, et les appendices sont également articulés. Leur croissance se fait donc par mues successives. Ils possèdent au moins une paire d'yeux composés, latéraux, formés d'unités photo réceptrices indépendantes, les ommatidies. Leur développement passe par une succession de stades larvaires dont la morphologie est très différente de l'adulte.

Ils constituent le plus grand embranchement du monde vivant par le nombre d'espèces identifiées (plus d'un million).

La classification des Euarthropodes est détaillée §3.8.

Nématodes : Vers à section circulaire non segmentés. Ils ne possèdent pas de cils à la surface du corps. Ils ne possèdent pas de muscles circulaires transversaux. L'appareil excréteur possède des cellules caractéristiques appelées renettes.

Priapulien : La partie antérieure de leur corps est une trompe protactile couverte d'épines et portant la bouche. Ces animaux ont une grande cavité corporelle remplie d'un liquide qui joue le rôle de squelette hydrostatique et de système circulatoire. Bien qu'appartenant aux Protostomiens, les Priapulien ont un développement deutérostomique : le blastopore forme l'anus.

3.4.2 Le retour des Lophotrochozoaires et des Lophophorates :

Fin 2019, de nouvelles analyses phylogénétiques portant sur la phylogénomique, les gènes Hox (*) et les fossiles, ont fourni de nouvelles perspectives sur l'histoire évolutive des Protostomiens.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

Plusieurs taxons anciennement érigés sur la base de synapomorphies morphologiques c'est-à-dire des caractères dérivés partagés par deux ou plusieurs groupes, hérités d'un dernier ancêtre commun, par exemple les Lophophorates avec leurs lophophores, semblent obtenir un soutien supplémentaire des analyses phylogénomiques.

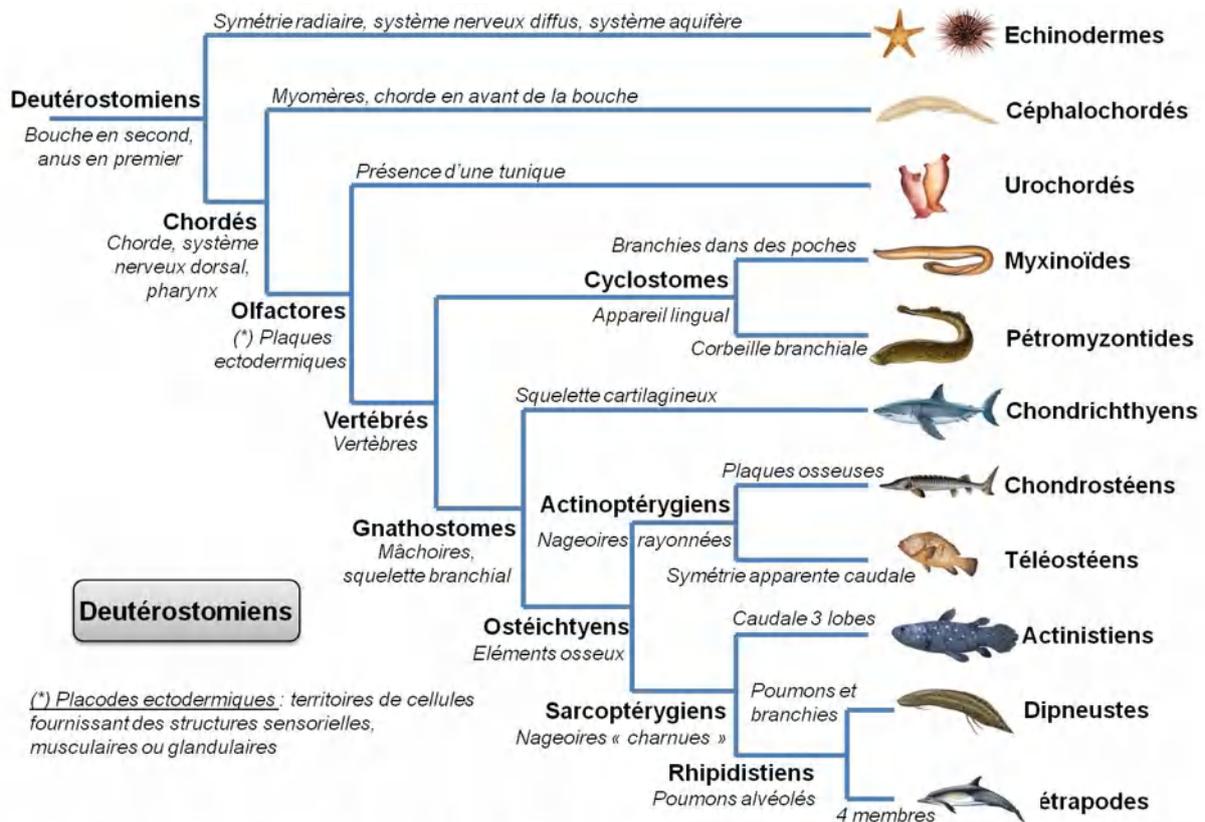
Ainsi les Lophophorates regrouperaient à nouveau les Bryozoaires (Ectoproctes) avec les Brachiozoaires (Phoronidiens et Brachiopodes).

Quant aux Lophotrochozoaires, ils sont positionnés au sein des Spiraliens et rassembleraient les Mollusques, les Annélides et les Némertes.

Mais tout ceci est encore débattu, bien qu'il semble y avoir consensus pour les Lophophorates.

(*) Les gènes *Hox* sont impliqués dans le développement et l'identité de chaque partie du corps le long de l'axe antéro-postérieur de la quasi-totalité des Bilatériens.

3.5 Les Deutérostomiens :



(*) *Placodes ectodermiques* : territoires de cellules fournissant des structures sensorielles, musculaires ou glandulaires

D'après la 4^{ème} édition Classification phylogénétique du vivant T1&T2 – Lecointre et Guyader - 2016

Même si l'allure générale de l'arbre n'apparaît pas profondément modifiée, un certain nombre de modifications sont à prendre en compte.

De nombreuses études sur l'embryologie des Myxines et des phylogénies moléculaires ont permis de regrouper Myxines (Myxinoïdes) et Lamproies (Pétromyzontidés) au sein des Cyclostomes sur la base d'homologies anatomiques et moléculaires. La position phylogénétique des Myxines et Lamproies a été souvent débattues au cours des décennies précédentes. Elles avaient été regroupées autrefois au sein du groupe des « Agnathes », puis séparées, pour être à nouveau réunies dans ce groupe des Cyclostomes.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

Parallèlement, ces phylogénies moléculaires inversèrent la position relative des Céphalochordés et des Urochordés, ces derniers étant plus proches des Vertébrés. Des homologies furent postulées et vérifiées entre les placodes ectodermiques sensorielles des Urochordés et celles des Vertébrés. C'est sur cette base qu'ils ont été regroupés au sein du taxon des Olfactores.

Les placodes se forment lors du développement embryonnaire. Ce sont des ébauches de cellules. Elles correspondent à un épaississement de la couche épithéliale à partir duquel un organe, ou sa structure, se développera ultérieurement.

Par exemple la placode optique qui donne le cristallin des Vertébrés correspond à celle qui fournit les muscles du siphon oral des Tuniciers adultes.

3.5.1 Légende arbre des Deutérostomiens :

Deutérostomiens : Littéralement bouche en second. Ce caractère est non exclusif et ne peut suffire à lui seul pour désigner un organisme deutérostomien. (Cf. ci-dessus)

Echinodermes : Le corps des adultes présentent une symétrie radiaire. Le squelette est très caractéristique de par sa composition (une calcite magnésienne) et sa structure (un réseau organique appelé le stroma). Ils possèdent une vésicule coelomique particulière, l'hydrocoèle qui, au cours de son développement, forme le système aquifère. Ce système communique avec l'extérieur (eau de mer) à travers une plaque spéciale, la plaque aquifère ou madréporite.

Chordés : Ces animaux possèdent une chorde, axe rigide dorsal qui soutient l'organisme au moins chez la larve. Elle n'est pas constituée d'os mais d'un tissu fibreux. Le système nerveux central est tubulaire et dorsal. Le tube digestif est ventral. Son extrémité antérieure comporte un pharynx percé de fentes branchiales.

Céphalochordés : La chorde se prolonge en avant de la bouche. Elle persiste toute la vie de l'animal. De part et d'autre de la chorde, la musculature est constituée de segments se succédant, les myomères.

Olfactores : Ces organismes possèdent des placodes endodermiques, territoires de cellules fournissant des structures sensorielles, musculaires ou glandulaires.

Urochordés : A l'état larvaire, il existe une chorde seulement dans la queue. Leur corps est enveloppé dans une tunique, plus ou moins épaisse, contenant un polysaccharide proche de la cellulose : la tunicine. Certains organismes (Ascidiacés) ont une vie fixée.

Vertébrés : Les vertèbres sont des pièces squelettiques entourant la chorde et se succédant d'avant en arrière. Les Vertébrés possèdent un crâne constitué primitivement d'arcs cartilagineux et de plaques fibreuses (neurocrâne). Il existe une musculature extrinsèque de l'œil ainsi qu'une régulation nerveuse du cœur qui se cloisonne en chambres cardiaques. Un système de lignes sensorielles latérales pourvu de neuromastes existe.

Cyclostomes : Les Myxinoïdes et les Pétromizontidés ont été regroupés à partir, entre autres, de processus embryonnaires (processus nasal) qui sont homologues et à partir d'homologies anatomiques telle la valve mobile appelée velum, qui sépare le canal respiratoire de la bouche. Le squelette de l'appareil lingual (piston) est dérivé du premier arc branchial.

Myxinoïdes : Craniates à allure vermiforme, sans mâchoires ni vertèbres au stade adulte (régression au cours du développement embryonnaire). L'appareil branchial est très différent de celui des vertébrés. Il est constitué de nombreuses poches en forme d'oignons contenant les branchies. Des

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

tentacules tactiles entourent la bouche. Leurs yeux sont dégénérés (perte de leur musculature extrinsèque et régression du cristallin). Au cours du développement embryonnaire, il y a également perte du système sensoriel de la ligne latérale.

Pétromyzontides : (Lamproies). Vertébrés sans mâchoires au corps allongé, sans nageoires paires, dépourvu d'écailles. Il existe un squelette branchial spécial, la corbeille branchiale. La tête est pourvue d'une ventouse qui entoure la bouche.

Gnathostomes : C'est un groupe monophylétique rassemblant l'ensemble des Vertébrés possédant une mâchoire constituée d'une mandibule supérieure et d'une mandibule inférieure. Le squelette branchial est interne par rapport aux branchies. Les fibres nerveuses ont enveloppées par des gaines de myéline. Les Gnathostomes possèdent deux paires d'appendices paires, soit des nageoires, soit des membres. Une structure spiralée dans leur intestin, la valvule spirale, permet d'accroître sa surface. Il y a perte secondaire de cette structure chez les Téléostéens et chez les Tétrapodes.

Chondrichthyens : Leur squelette est cartilagineux et la nageoire caudale est hétérocerque. Leurs dents et leurs écailles sont de structure identique. Chez les mâles, les nageoires pelviennes ont des appareils spéciaux servant à l'accouplement : les claspers pelviens ou ptérygopodes.

Ostéichthyens : Des ensembles d'éléments osseux d'origine dermique apparaissent. Il existe des sacs aériens connectés au tube digestif. Ces sacs sont primitivement des poumons, mais peuvent fournir une vessie gazeuse (ou vessie natatoire) jouant le rôle de flotteur. La membrane des nageoires dorsales est soutenue par des rayons constitués d'os.

Actinoptérygiens : Ils sont pour la plupart des « poissons » au sens populaire du terme (sauf chondrichthyens, cœlacanthe et dipneustes). La nageoire a des rayons typiques, d'où leur nom de « poissons à nageoires rayonnées ». Les écailles s'articulent entre elles (tenon/mortaise)

Chondrostéens : Ce sont les esturgeons et les spatules, survivants d'une faune très ancienne de poissons à nageoires rayonnées. Leur squelette est cartilagineux et leur peau presque nue est recouverte de rangées espacées de plaques osseuses (chez les esturgeons). En avant de la bouche se trouvent des barbillons sensoriels. Leurs mâchoires sont extrêmement modifiées et dépourvues de dents.

Téléostéens : C'est un groupe extrêmement diversifié d'Actinoptérygiens représentant la quasi-totalité des « poissons » actuels et la moitié des Vertébrés. Ils ont un mode de capture buccale par aspiration qui leur est particulier bien que présentant des variantes compte tenu des nombreuses lignées de ce groupe. Les Téléostéens acquièrent une symétrie apparente de leur nageoire caudale.

Sarcoptérygiens : Les formes actuelles sont surtout terrestres, puisque ils regroupent l'ensemble des Tétrapodes. Les espèces actuelles inféodées à l'eau sont les Dipneustes, le Cœlacanthe et les Cétacés. Leurs nageoires paires sont « charnues », très mobiles, à squelette interne monobasal. Le squelette interne des nageoires (ou des membres) est monobasal, c'est-à-dire s'attachant sur les ceintures par un seul élément. Les ceintures sont des ensembles squelettiques reliant les membres à la colonne vertébrale.

Les formes aquatiques fossiles des Sarcoptérygiens préfigurent le passage à la vie terrestre chez les Vertébrés.

Actinistiens : Représenté par de nombreuses espèces fossiles mais seulement par deux espèces vivantes de Cœlacanthe connues à ce jour. Leur première nageoire dorsale est armée d'épines creuses d'où leur nom. Les nageoires paires ont un long lobe charnu et sont très mobiles. La

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

coordination de leurs mouvements est celle d'un animal à pattes (tétrapode). La nageoire caudale est très caractéristique, dotée de trois lobes : un lobe ventral, un lobe dorsal et un lobe central.

Rhipidistiens : Ce sont les ancêtres directs des Tétrapodes. Leur poumon fonctionnel est muni d'alvéoles et le cœur a deux oreillettes. Il y a présence d'une glotte, point de confluence du larynx et du tube digestif.

Dipneustes : Vivant en eaux douces à faible courant ou bien dans des eaux boueuses (parfois jusqu'à l'assèchement), ils possèdent des poumons alvéolés et fonctionnels. Les narines sont déplacées vers l'intérieur de la bouche. Mais ils peuvent respirer à l'aide de branchies si l'eau est suffisamment oxygénée, ou respirent à la surface, en aspirant de l'air dans leurs poumons, dans le cas contraire. La bouche est armée de plaques dentaires broyeuses. Certains os de la mâchoire ont disparu.

Tétrapodes : Les Tétrapodes sont caractérisés par des membres pairs locomoteurs munis de doigts. Le squelette des membres pairs est issu de celui de la nageoire paire de certains Sarcoptérygiens fossiles. Il y a perte des écailles.

3.6 A propos du devenir du blastopore : bouche en premier, ou anus en premier ?

Au XIX^{ème} siècle, Protostomiens et Deutérostomiens furent caractérisés par le devenir du blastopore, bouche ou anus, d'où leur nom. Mais la confirmation de l'appartenance des Chætognathes (plancton) ou bien des Priapulien, au taxon des Protostomiens rend difficile l'utilisation du devenir du blastopore pour expliquer la différence entre Protostomiens et Deutérostomiens, car ces groupes ont un développement embryonnaire de type deutérostomien.

En fait, le devenir du blastopore chez les Bilatériens est très diversifié.

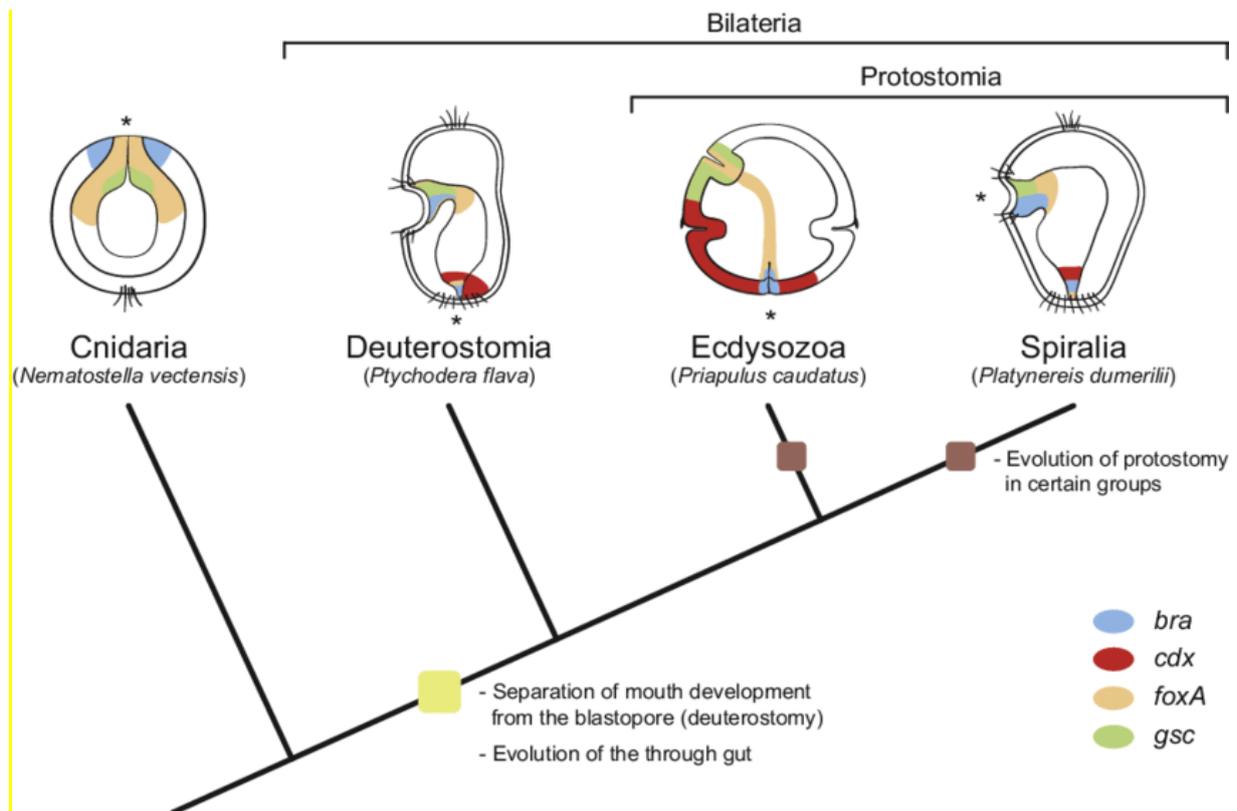
Chez les Deutérostomiens, le blastopore forme l'anus. Ce caractère étant partagé par tous les Deutérostomiens, on dit qu'il est ancestral car il n'a pas évolué au sein de ce groupe.

Chez les Protostomiens, c'est une autre histoire. Le devenir du blastopore est extrêmement variable. Bien que, pour la plupart des Protostomiens, il devienne la bouche, pour certains d'entre eux, il devient anus, et même encore, lorsque le blastopore s'allonge et se ferme latéralement, les deux extrémités donnent alors naissance à la bouche et l'anus simultanément. C'est l'amphistomie que l'on trouve chez les Polychètes du genre *Polygordius*, les nématodes du genre *Pantonema*, ou encore les Onychophores, animaux vermiformes terrestres, groupe frère des Arthropodes.

Cela intrigue les chercheurs qui s'interrogent sur le caractère ancestral du blastopore chez les Protostomiens et du même coup chez les Bilatériens. Déchiffrer ce mode de développement ancestral des Bilatériens est crucial pour la compréhension de la transition des animaux à une simple cavité gastrale, comme les Cnidaires, aux animaux symétriques bilatéraux à l'intestin traversant.

L'étape de la gastrulation est commune à tous les métazoaires au cours de leur développement, de l'œuf à l'adulte (ontogénèse). Tous les scientifiques s'accordent pour considérer cette étape comme un événement fondamental dans tout organisme car elle détermine les principales caractéristiques corporelles au cours du développement : diploblastique ou triploblastique, protostomien ou deutérostomien...

A partir de nombreuses analyses phylogénétiques, basées sur un certain nombre de gènes, une hypothèse a été formulée en 2012 :



Source :

Current Biology 22, 2161–2166, November 20, 2012 ©2012 Elsevier Ltd - Deuterostomic Development in the Protostome *Priapulus caudatus*.

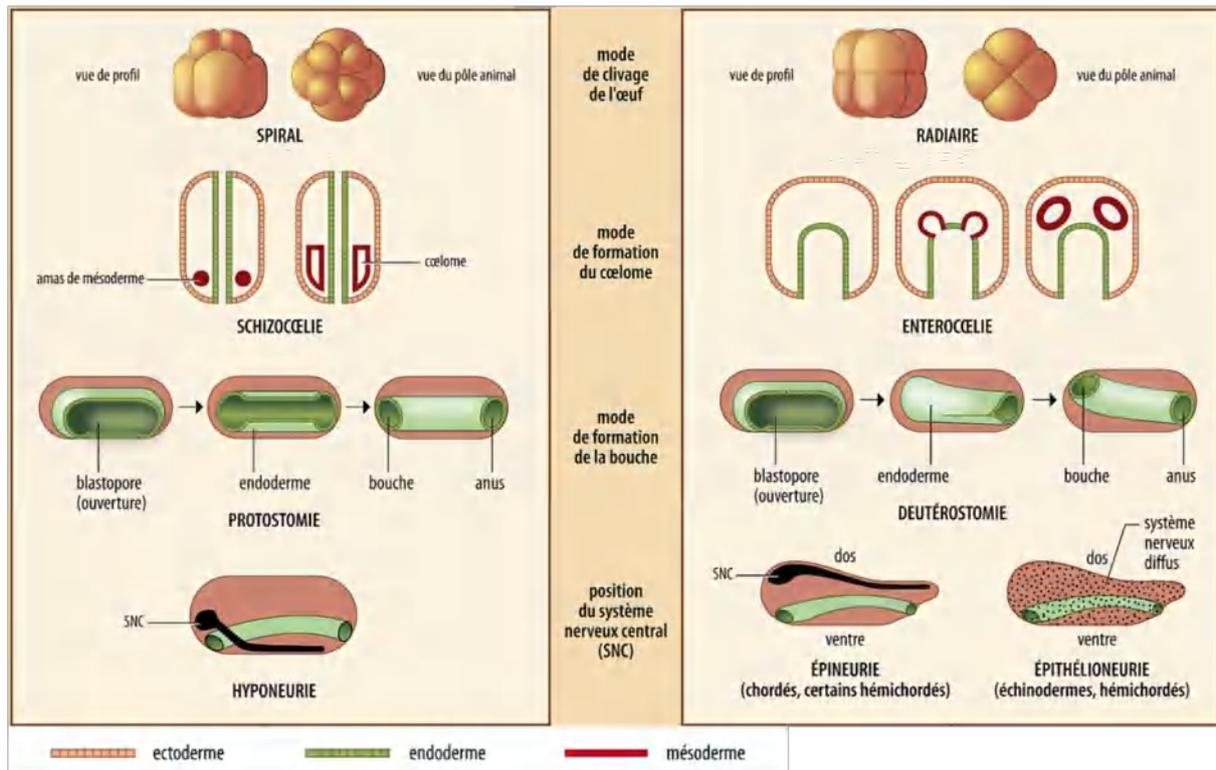
Auteurs : José M. Martín-Duran, Ralf Janssen, Sofia Wennberg, Graham E. Budd and Andreas Hejnol.

Figure 4. Évolution de la bilatérie à travers l'intestin liée à l'expression des gènes *bra*, *cdx*, *gsc* et *foxA* et au développement deutérostromique de *Priapulus caudatus*. (Evolution of the Bilaterian Through Gut Related to the Expression of *bra*, *cdx*, *gsc*, and *foxA* and the Deuterostomic Development of *P. caudatus*.)

L'étude de l'expression des gènes *bra*, *cdx*, *gsc* et *foxA*, impliqués dans la formation de la bouche et de l'anus chez *Priapulus caudatus* (Ecdysozoaire Priapulien) et d'autres bilatéraux, ou encore de l'ouverture buccale chez les Cnidaires, et la comparaison des données sur l'embryogénèse de ce même *Priapulus caudatus* avec les autres lignées Ecdysozoaires, suggèrent que le dernier ancêtre commun à la deutérostomie et à la protostomie, a présenté un développement deutérostromique.

Autrement dit, le devenir du blastopore en anus en premier (deutérostomie) serait un caractère ancestral à l'ensemble des Bilatériens, ce caractère ayant évolué plus tard, chez certains groupes des Protostomiens.

3.7 Quid des différences classiques entre Protostomiens et Deutérostomiens :



Source :

Encyclopædia Universalis France – Conception traditionnelle de l'évolution animale

Aujourd'hui, à l'heure de la phylogénie moléculaire, que deviennent les différences morpho-anatomiques traditionnelles entre Protostomiens et Deutérostomiens ?

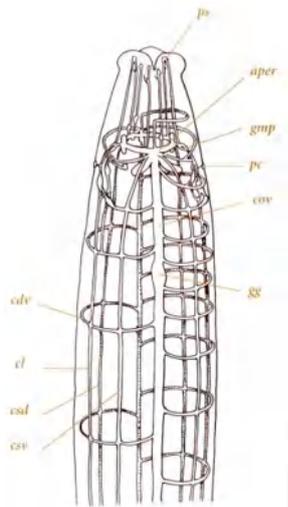
Sur les 4 caractères qui discriminaient classiquement Protostomiens et Deutérostomiens, tous sont plus ou moins remis en cause par l'accumulation des connaissances :

- Le mode de clivage de l'œuf :
Le clivage en spirale appartient bien au groupe des Protostomiens mais il n'est pas commun à l'ensemble du groupe. Il diffère chez les Ecdysozoaires. Chez les Deutérostomiens, il est radiaire.
- Le mode de formation du coelome :
Il existe 2 modes de formation : la schizocœlie (délamination d'un massif de cellules) attribuée classiquement aux Protostomiens et l'entérocoelie (invagination de la paroi de l'archentéron) pour les Deutérostomiens.
Mais, il s'avère que certains Brachiopodes, pourtant appartenant aux Protostomiens, développent leur coelome par entérocoelie tandis que, chez certains Chordés, le coelome peut se développer par entérocoelie et schizocœlie.
- Le mode de formation de la bouche :
Ce caractère n'est plus pertinent en systématique phylogénétique (voir § ci-dessus).
- La position du système nerveux central :
Chez les Deutérostomiens, la position du système nerveux peut être épithélioneurienne ou épineurienne.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

Quant à l'hyponeurie, elle ne semble pas être un caractère commun partagé chez l'ensemble des Protostomiens.

En effet, le seul caractère anatomique exclusif partagé par l'ensemble des groupes des actuels Protostomiens (synapomorphie) correspond à la structure orthogonale du système nerveux, à l'image du système nerveux d'un nématode ci-dessous.



aper : anneau péricœsophagien
cdv : commission dorso-ventrale

cl : cordon latéral

cov : cordon ventral

csd : cordon subdorsal

csv : cordon subventral

gg : ganglion

gmp : ganglion du nerf papillaire latéral majeur, pourvu de cellules sécrétrices

pc : papille cervicale

ps : papille sensorielle

Les commissures dorso-ventrales sont perpendiculaires aux différents cordons longitudinaux qu'ils relient.

Source :

La classification phylogénique du vivant Tome 2 - 4^{ème} édition ; Hervé Le Guyader, Guillaume Lecointre ; Editions Belin

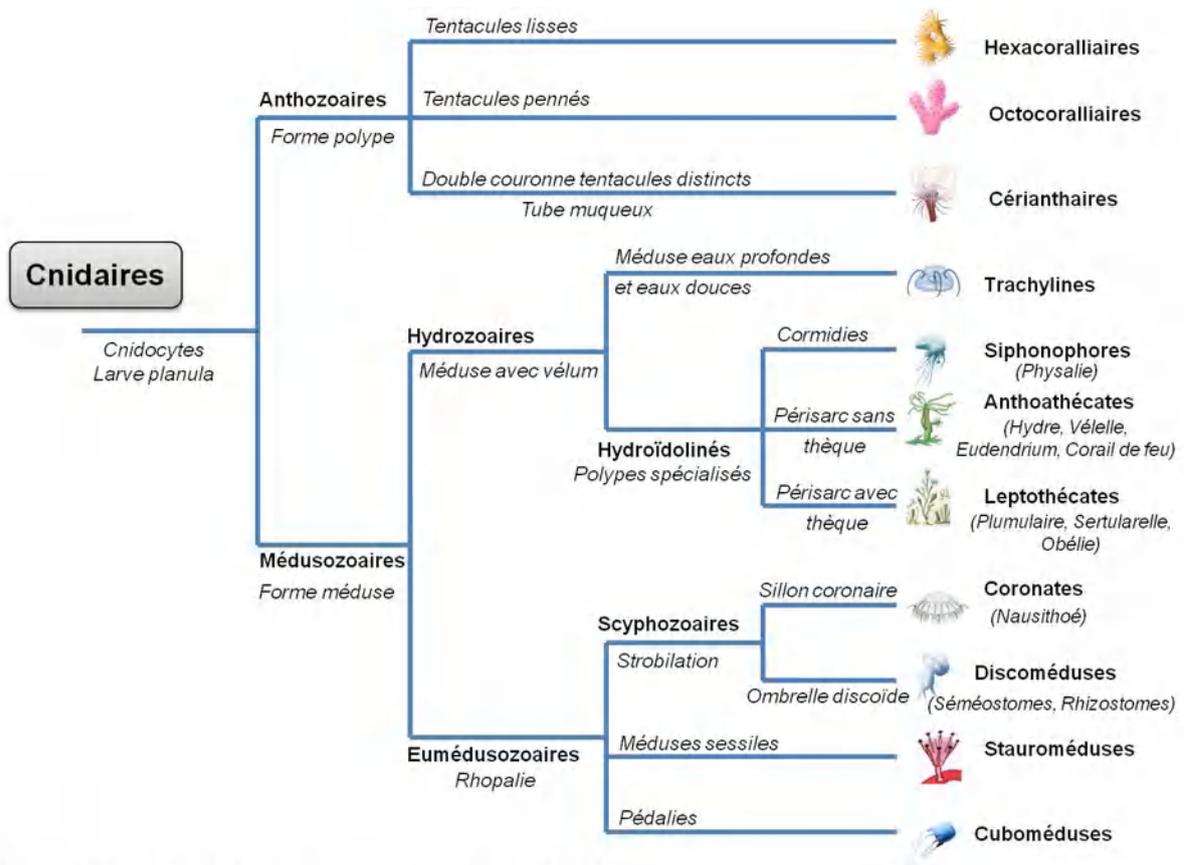
Secondairement, chez les Protostomiens, le système nerveux peut devenir ventral, à l'exception des ganglions céphaliques. L'animal devient alors de type hyponeurien avec un collier péricœsophagien.

Ainsi, expliquer la différence entre Protostomiens et Deutérostomiens par la seule étymologie des mots n'est plus suffisant et dépend du public concerné (PB1 ou PB2).

En effet, l'ensemble des 4 caractères décrits font appel à des notions d'embryologie qui ne peuvent être vues qu'au cours de la formation PB2. Dès lors que les principales étapes de l'embryogénèse ont été décrites, la différence entre Protostomiens et Deutérostomiens est plus compréhensible.

Pour le public PB1, la description des 2 groupes par l'étymologie des mots me paraît malgré tout la plus adaptée. D'autant que celle des Deutérostomiens reste vraie. Pour les Protostomiens, il faudra la nuancer avec réserves. On peut employer le mot « embryogénèse » au PB1 sans pour autant décrire les processus qui s'y développent.

3.8 Les Cnidaires :



D'après la 4^{ème} édition Classification phylogénétique du vivant TL&T2 –Lecointre et Guyader – 2016

Les Cnidaires étaient traditionnellement divisés en 3 groupes, voire 4 : Les Anthozoaires, les Scyphozoaires « véritables » méduses, les Hydrozoaires l'ensemble des autres Cnidaires restants et, accessoirement, les Cubozoaires, méduses à la forme « carré ».

La nouvelle classification n'a retenu que 2 grands groupes : les Anthozoaires et les Médusozoaires. Il s'avère que le caractère « méduse » est un caractère dérivé, une synapomorphie, qui n'apparaît que chez les Médusozoaires dont le cycle de vie alterne forme polype et forme méduse, contrairement aux Anthozoaires qui ne présentent qu'une forme polype. Ainsi ont été regroupés les Hydrozoaires et les Scyphozoaires.

On peut dans un souci de simplification, supprimer le groupe des Trachylinés et des Coronates. Les petites méduses rencontrées en eau douce font partie des Trachylinés, tandis que les Coronates sont habituées aux grandes profondeurs difficilement accessibles aux plongeurs loisirs.

On peut également rassembler Anthoathécates et Leptothécates, dans un groupe que l'on pourrait appeler « Hydraires » mais en précisant bien qu'il s'agit alors d'un regroupement de groupes zoologiquement différents et qu'il n'a aucune signification phylogénétique.

Le changement le plus radical dans la classification récente des Cnidaires est l'inclusion du groupe des Myxozoaires sur la base de données morphologiques et moléculaires et confirmée par de nombreuses analyses phylogénomiques, mais qui ne nous intéressent pas en tant que plongeurs loisirs. Ce sont des Cnidaires, de l'ordre du millimètre, parasites des Annélides, des Bryozoaires et de certains Vertébrés. Il s'agit d'un groupe frère des Médusozoaires. Ils ne sont pas représentés dans l'arbre ci-dessus car impossible à observer par nous, plongeurs.

3.8.1 Légende de l'arbre des Cnidaires :

Cnidaires : Organismes aquatiques (marins pour la plupart) libres ou fixés, carnivores, principalement à symétrie radiaire, caractérisés par des cellules urticantes : les cnidocytes. Deux morphologies principales : le polype et la méduse. La larve est une planula.

Anthozoaires : Cnidaires exclusivement marins, solitaires ou coloniaux, uniquement sous la forme polype (jamais de phase méduse dans le cycle de vie). Leur pharynx, d'origine ectodermique (invagination de l'ectoderme), est aplati et possède 2 gouttières longitudinales ciliées, les siphonoglyphes, réalisant un courant d'eau constant vers la cavité gastrique. Leur cavité gastrique présente des replis appelés septes ou mésentères. Ces replis présentent un bord libre épaissi appelé filament mésentérique.

Hexacoralliaires : Ce sont des Anthozoaires coloniaux ou solitaires. Leurs tentacules sont lisses, en nombre multiple de 6, bien qu'il y ait beaucoup d'altérations secondaires à ce nombre. Chez les Actiniaires, on note la présence d'un muscle sphincter, anneau épais de muscles qui permet l'occlusion de l'animal avec les tentacules rétractés en réponse à une agression ou à une émergence (cas des anémones tomates). Chez certaines anémones, les filaments mésentériques sont tapissés de cnidocytes : ce sont les aconties.

Octocoralliaires : Ce sont des Anthozoaires quasiment tous coloniaux, à l'exception d'une espèce endémique des eaux de la Nouvelle-Zélande, *Taiaroa tauhou* (Alcyonnaire). Les polypes sont de petite taille, présentant une symétrie radiaire d'ordre 8. Les tentacules et les mésentères sont au nombre de 8. Les tentacules ne sont pas lisses, mais portent 2 rangées de pinnules opposées. On dit qu'ils sont pennés. Il y a acquisition d'un endosquelette formé de sclérites calcaires.

Cérianthaires : Ce sont des polypes marins solitaires, au corps mou et allongé. Ils sont fouisseurs et vivent dans un tube muqueux sécrété par l'animal et recouvert de particules du sédiment. Deux couronnes de tentacules (verticilles), de taille et de couleur différente, entourent leur bouche. Leur larve très particulière, la cerinula, a un long stade planctonique de développement avant de se métamorphoser en un polype fixé.

Médusozoaires : Ces Cnidaires présentent une phase méduse, sans vélum, c'est-à-dire acraspède, le plus souvent libre et pélagique dans leur cycle de reproduction. La phase méduse est toujours sexuée. Certains peuvent avoir un squelette externe, organique, de nature chitineuse (périsarc).

Hydrozoaires : Cnidaires dont le cycle de vie est alterné, mais de façon inconstante, par deux phases différentes : le polype et la méduse. Les méduses sont dites craspédotes en raison de la présence d'un vélum, membrane pourvue de muscles circulaires qui délimite une cavité sous l'ombrelle. Ce vélum joue un rôle important lors de la nage par réaction de la méduse. Il existe 2 anneaux nerveux en périphérie de l'ombrelle. La méduse se forme par bourgeonnement latéral à partir d'un amas de cellules ectodermiques : le bourgeon médusaire ou entocodon. Ils peuvent être coloniaux ou solitaires. Certaines espèces vivent en eau douce (Hydre).

Trachylines : Hydrozoaires dont la phase polype a secondairement disparu. C'est le seul groupe qui présente des méduses d'eau douce, les Limnoméduses. Les autres Trachylines vivent généralement en eaux profondes, visibles parfois dans la zone de plongée.

Hydroïdolinés : Hydrozoaires dont le cycle de vie présente toujours une phase polype. Lorsqu'il y a une phase méduse, il s'agit d'une méduse craspédote (cf. Hydrozoaires). Les méduses sont dites leptoméduses, méduses de forme aplatie avec les gonades situées dans les canaux radiaires. Souvent coloniaux, les polypes se spécialisent : les uns nourrissent la colonie (gastrozoïdes), les autres

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

assurent sa défense (dactylozoïdes), d'autres encore permettent la formation de méduses (gonozoïdes).

Syphonophores : Hydroïdes coloniaux exclusivement pélagiques. Les colonies sont composées de très nombreux polypes interconnectés (parfois plusieurs centaines, voire milliers) et fortement différenciés, disposés le long d'un stolon long parfois de plusieurs dizaines de mètres.

Anthoathécates (ou athécates) : *Eudendrium*, *Hydractinie (Filifères)*, *Vélelle*, *Hydre d'eau douce*, *Hydraire des amarres*, *corail de feu (Capités)*... Hydraires coloniaux dont les polypes sont dépourvus de calices protecteurs rigides (Thèque). La forme polype est presque exclusivement benthique, quelques espèces tropicales secrètent un exosquelette calcaire (coraux de feu). La forme méduse possède une ombrelle avec des ocelles, les gonades se développent autour du manubrium.

Leptoathécates (ou thécates) : *Plumulaires*, *Sertularelle*, *Obélie*... Hydroïdes coloniaux dont les polypes peuvent se rétracter dans une enveloppe chitineuse, la thèque, sorte de calice en prolongement du périsarc. On parle d'hydrothèque lorsqu'il s'agit d'un polype gastrozoïde ou de gonothèque lorsqu'il s'agit d'un polype gonozoïde. Les méduses (quand elles existent) sont aplaties, parfois de grande taille, portant des statocystes sur le bord de l'ombrelle, et des gonades sur les canaux radiaires.

Eumédusozoaires : La cavité gastrique de la méduse présentent des septes (cloisons radiaires qui divisent la cavité en plusieurs loges). Le bord libre interne de chaque septa porte des filaments gastriques jouant un rôle actif dans la digestion des proies. On trouve des cordons musculaires longitudinaux dans la mésoglée. La méduse est pourvue d'un organe sensoriel complexe, la rhopalie, comprenant un statocyste.

Scyphozoaires : Méduses vraies (ou acraspèdes). La phase polype est réduite à absente. Les méduses se forment par strobilation du polype (fission transverse du polype). Le polype en strobilation est appelé scyphistome. Les méduses issues du scyphistome sont appelées éphyrule. La marge de l'ombrelle est découpée en lobes. La cavité gastrale est cloisonnée en quatre.

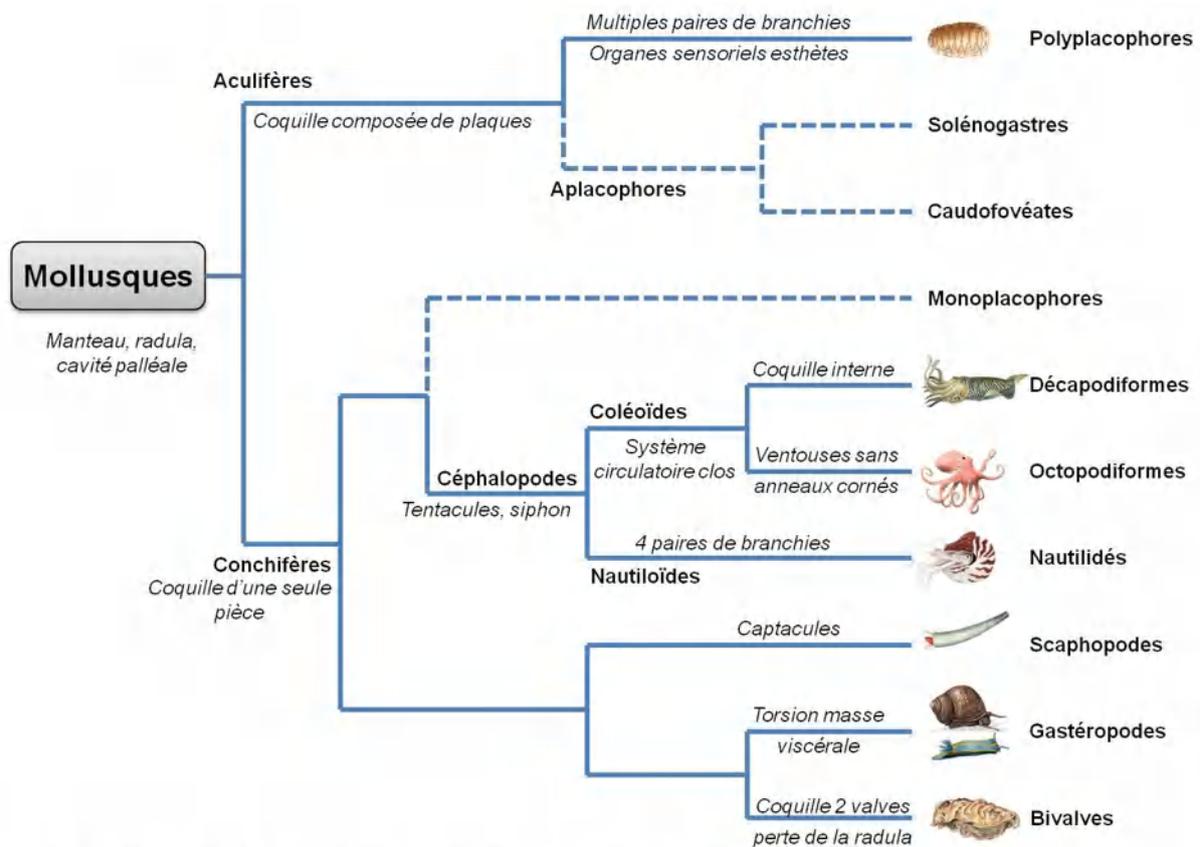
Coronates : Méduses en forme de cloche. L'ombrelle est divisée en 2 parties par un grand sillon équatorial, dit sillon coronaire ou coronal. Les lobes du bord de l'ombrelle portant des tentacules ou des rhopalies sont appelés pédalies. La plupart vivent en eau profonde. La forme polype présente un périsarc très développé et est protégée par une thèque.

Discoméduses : Méduses à ombrelle discoïde, non sillonnée. Il y a perte des septes à l'intérieur. Certains rhizostomes ont perdu secondairement leur bouche (remplacée par des ostioles) et les tentacules du bord de l'ombrelle.

Stauroméduses (ou Lucernaires) : Méduses sessiles (perte de la génération planctonique et de nombreux organes), ombrelle surmontée d'un pédoncule de fixation. Bouquets de petits tentacules capités, perte des statocystes, d'organes sensoriels, manubrium de section carrée. Constituaient auparavant un ordre des scyphozoaires.

Cuboméduses : Ombrelle transparente de forme cubique. Les tentacules sont regroupés en quatre bouquets à chaque coin du cube, sur des expansions appelées pédalies. Chaque polype produit une méduse unique par métamorphose complète. Le système nerveux de la méduse présente un anneau nerveux proche de l'ombrelle. Celle-ci présente un repli, appelé velarium, qui limite la cavité sous l'ombrelle. Il n'est pas homologue du vélum des Hydrozoaires. Le venin des Cuboméduses est le plus puissant des Cnidaires.

3.9 Les Mollusques :



D'après la 4^{ème} édition Classification phylogénétique du vivant T1&T2 – Leconte et Guyader – 2016, complété par World Register of Marine Species database

L'arbre des Mollusques a été fortement remanié, même si, au final, on retrouve les mêmes grandes classes. C'est l'arrivée des données génomiques issues de 1500 gènes environ, obtenues par différentes équipes scientifiques, qui a redistribué les cartes.

Au sein des Conchifères, la principale modification vient de l'éclatement et de la suppression du groupe des Viscéroconques (Céphalopodes et Gastéropodes) et du groupe des Diasomes (Bivalves et Scaphopodes). Sur la base de ces nouvelles données moléculaires, les Gastéropodes sont devenus un groupe frère des Bivalves, tandis que Céphalopodes et Monoplacophores se sont rapprochés.

Les Polyplacophores occupaient une place à part compte tenu de leur coquille constituée de plaques articulées. Quant aux Solénogastres et Caudofovéates, leur position était incertaine, et ils sont à nouveau regroupés au sein des Aplacophores sur la base de caractères moléculaires et non sur l'absence de plaques tel que l'étymologie du mot le laisse penser. Ils forment avec le groupe des Polyplacophores, le groupe des Aculifères (étymologiquement : qui portent des spicules).

On peut résumer ainsi le phylum des Mollusques en 2 grands groupes : ceux qui portent une coquille en plusieurs morceaux ou des spicules, les Aculifères, et ceux qui portent (ou ont porté) une coquille d'une pièce : les Conchifères.

Pour nous plongeurs loisirs, le groupe des Aplacophores et des Monoplacophores présentent peu d'intérêts.

En effet, Les Caudofovéates sont des mollusques marins vermiformes qui vivent enfouis verticalement dans le sédiment. Les Solénogastres, également marins et vermiformes, sont des animaux libres se déplaçant près du fond, prédateurs de Cnidaires et de Bryozoaires. Ils mesurent de

0,15 à 30 cm et certains vivent en profondeur (de 50 à 100 m). Quant aux Monoplacophores, ils vivent dans les grands fonds océaniques jamais au-dessus de 200m.

On peut alors simplifier ce nouvel arbre en supprimant les branches correspondantes (en pointillé dans l'arbre présenté) sans modifier les relations hiérarchiques et sans remettre en question leurs significations évolutives.

Remarque :

Le groupe Céphalopodes/Monoplacophores ainsi que le groupe Scaphopodes/Gastéropodes-Bivalves n'ont pas encore été nommés. Quant au groupe réunissant Gastéropodes/Bivalves, celui-ci est appelé Pléistomollusques. C'est un groupe formé uniquement sur la base de données moléculaires.

3.9.1 Légende arbre des Mollusques :

Aculifères : Etymologiquement : qui porte des spicules. Mais, de nombreuses études paléontologiques et de récentes observations ont montré que les Aculifères sont aussi des mollusques au corps couvert de 7 à 8 plaques articulées entre elles (subdivisions de la coquille). Ils sont opposés aux Conchifères, les mollusques avec une coquille d'une seule pièce.

Polyplacophores : Mollusques à symétrie bilatérale, de forme ovale, aplatis dorso-ventralement avec tête, pied, et masse viscérale nettement distincts. La partie dorsale du manteau sécrète une coquille constituée de huit plaques calcaires articulées entre elles. Les polyplacophores présentent de multiples paires de branchies logés dans le sillon palléal. Des organes sensoriels photorécepteurs sont incorporés dans les plaques dorsales, les esthètes. Ce sont des brouteurs. Les Chitons souvent rencontrés en plongée ou bien en promenade au bord de mer sous les cailloux sont des Polyplacophores.

Aplacophores : Rarement observés en plongée. Ce sont des mollusques marins vermiformes, à symétrie bilatérale, de section quasiment circulaire. Ce sont des animaux libres se déplaçant près du fond (Solénogastres) ou bien fouisseurs dans le sédiment (Caudofovéates). Il y a absence de plaques chez les adultes.

Conchifères : Ce sont des Mollusques avec une coquille d'une seule pièce au moins à l'état larvaire et dans la majorité des cas, à l'âge adulte. La condition bivalve est acquise secondairement à partir de la condition univalve. La coquille est composée de 3 couches (couche interne : nacre). Les Conchifères ont des statocystes, organes sensoriels d'équilibration.

Monoplacophores : Ne seront jamais vus en plongée. Mollusques vivant dans les grands fonds océaniques, jamais au-dessus de 200 m et possédant une coquille patelloïde (ressemblant à la coquille des patelles). Leur anatomie interne est sériée de manière caractéristique (séries successives d'organes).

Céphalopodes : La partie antérieure du pied est modifiée en de multiples tentacules préhensiles. La partie postérieure du pied forme le siphon. Cet organe musculieux expulse l'eau de la cavité palléale. Deux pièces squelettiques mandibulaires forment le « bec de perroquet ». La coquille, peut être interne (reliquat), externe (forme cloisonnée) ou totalement absente. Les mâles possèdent un organe de copulation qui est un tentacule spécialisé (transport des spermatozoaires dans la cavité palléale de la femelle).

Coléoïdes : Le système circulatoire, ouvert chez les autres mollusques, est fermé chez les Coléoïdes. Le système nerveux est extrêmement centralisé et forme un « cerveau » protégé par une capsule cartilagineuse. Ils possèdent une poche à « encre », stockant un liquide foncé qui sera évacué lorsque

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

l'animal se sentira menacé. Les yeux sont complexes et perfectionnés. Leur manteau contient de très nombreuses cellules pigmentaires (les chromatophores) qui leur permettent de changer de coloration à volonté. Le bras copulateur des mâles (transfert du spermatophore) est appelé hectocotyle. Ils possèdent 2 néphridies, 2 branchies (dibranchiaux), des ventouses sur les bras, au nombre de 10 au moins.

Décapodiformes : 4 paires de bras spécialisés pour la capture des proies et 2 tentacules plus longs. Les tentacules sont munis de ventouses pédonculées, mobiles, avec un anneau corné. Le manteau recouvre une coquille interne parfois réduite ou absente.

Octopodiformes : Huit tentacules. Corps en forme de sac. Les tentacules sont munis de ventouses rondes symétriques sans anneau corné. La coquille est totalement absente chez les Pieuvres, mais bien présente chez les Argonautes, appelés « poulpe à nacelle ». Cette coquille est très développée mais non adhérente au corps.

Nautiloïdes/Nautilidés : Ils possèdent deux paires de branchies (Tétrabanchiaux), une coquille cloisonnée externe planispiralée, de très nombreux tentacules sans ventouses. Les deux yeux sont sans cristallin ni cornée. Il n'y a pas de poche à encre ni de chromatophores. Les mâles possèdent un tentacule copulateur nommé spadice. Chez les Nautilidés, le système est semi-ouvert : une partie seulement du sang se déverserait dans des lacunes. Les Nautiles sont les derniers représentants des Céphalopodes tétrabanchiaux (Nautiloïdes).

Scaphopodes : Rarement observés en plongée. Mollusque fouisseur. Ce sont les Dentaies dont les coquilles sont souvent retrouvées dans les laisses de mer. Coquille en forme de défense d'éléphant, tube conique ouvert aux deux bouts. Près de la bouche, il existe 2 bouquets de captacules, longs filaments ciliés contractiles, renflés à leur extrémité et pourvu de glandes adhésives (capture des particules alimentaires). La tête est très réduite, quasi absente (perte secondaire) et dépourvue d'yeux.

Gastéropodes : Malgré une grande diversité de morphologie externe, les gastéropodes sont des mollusques à tête bien distincte, le plus souvent pourvus d'une coquille dorsale d'une seule pièce, torsadée. La tête porte une ou deux paires de tentacules dorsaux et deux yeux situés à la base, ou à l'extrémité des tentacules.

Une torsion de la masse viscérale à 180° caractérise les gastéropodes à un stade précis de leur développement. Cette torsion ramène la cavité palléale d'une position postérieure à une position antérieure au-dessus de la tête. Une détorsion peut éventuellement survenir secondairement dans certains groupes de gastéropodes. Les larves des espèces marines sont souvent des larves nageuses trochophores et véligères.

Chez les gastéropodes terrestres (ex-Pulmonés), la cavité palléale laisse place à une poche respiratoire communiquant avec le milieu par un orifice, le pneunostome.

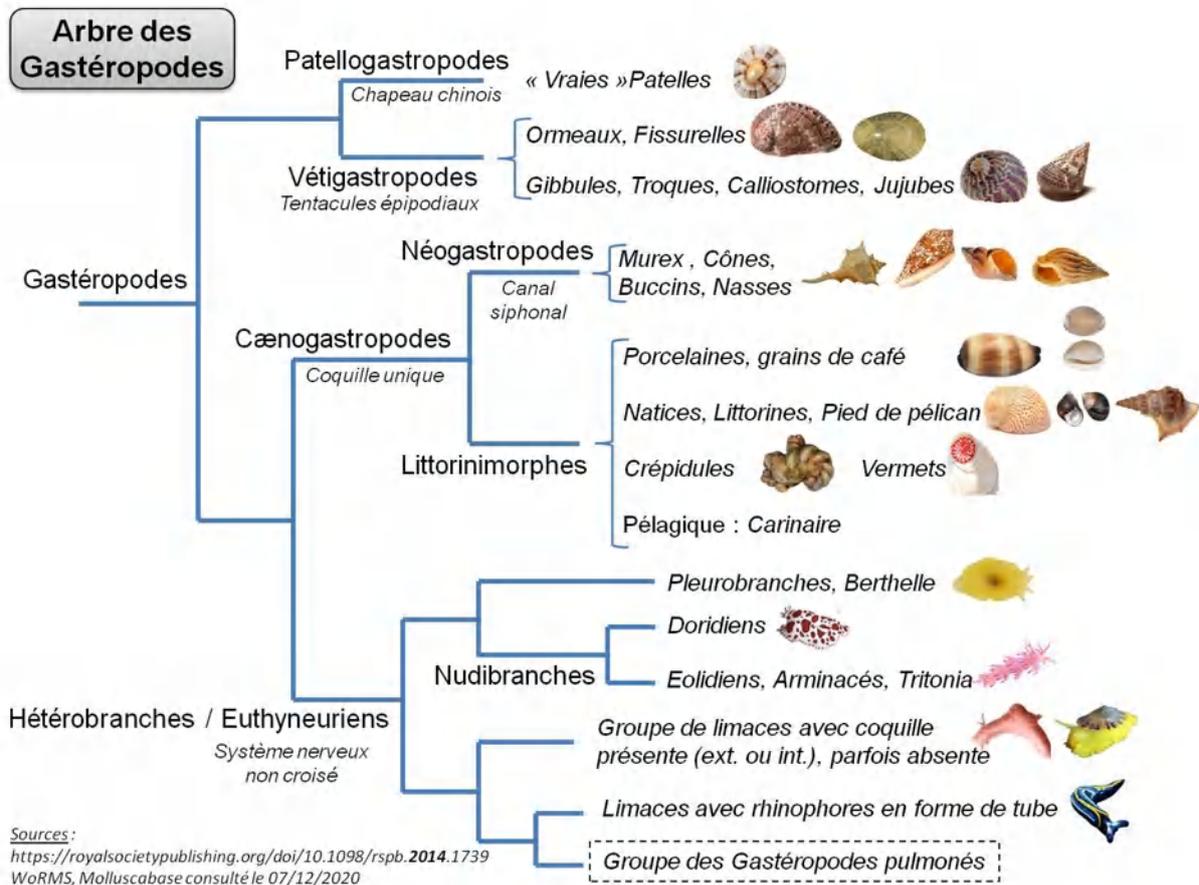
La classification des gastéropodes est détaillée §3.7.

Bivalves ou lamellibranches : Mollusques aquatiques, filtreurs, au corps comprimé latéralement. La coquille au stade adulte, est composée de 2 valves articulées disposées de part et d'autre du plan de symétrie. Il y a perte de la tête et absence de la radula. La majorité des bivalves ont des branchies en forme de filaments ou feuillettes qui servent à la respiration mais aussi à la capture des particules alimentaires. Les battements des cils des branchies créent un courant d'eau. L'eau entre par un orifice inhalant et sort par un orifice exhalant. Ces orifices sont parfois prolongés par des siphons qui peuvent être très longs dans le cas des espèces fouisseuses. Chez les espèces fixées, on trouve à la

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

base du pied, la glande byssogène qui fabrique les filaments adhésifs du byssus. Le rebord du manteau est riche en organes sensoriels et développe chez certaines espèces, des lobes, des volets colorés ou tentacules. On y trouve parfois des yeux qui varient en complexité selon les espèces.

3.10 Les Gastéropodes :



Note :

L'arbre présenté ici n'est pas issu de la 4^{ème} édition revue et corrigée de *La Classification phylogénétique du vivant* (Tomes 1 et 2).

Il a été réalisé à partir de :

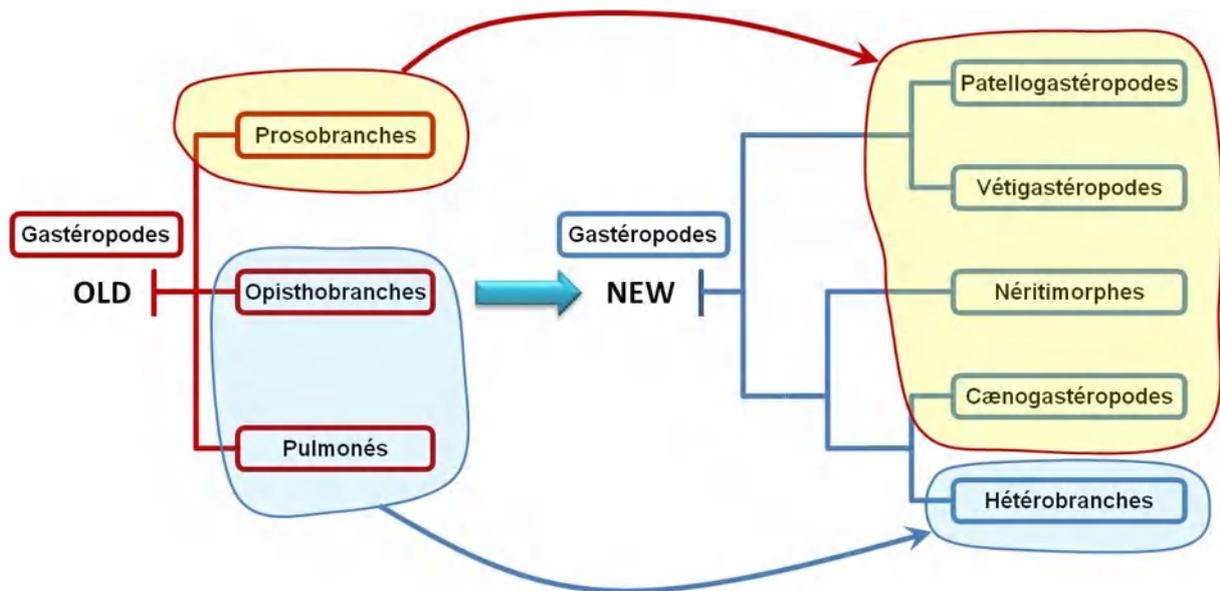
- l'étude publiée par Royal Society en 2014

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2014.1739>,

- des consultations des sites WoRMS, Molluscabase faites le 07 décembre 2020,
- du site <https://www.digitalatlasofancientlife.org/learn/mollusca/gastropoda>,
- des fiches DORIS et du livre *Des limaces de rêve* autoédité par Sandrine BIELECKI.

Les Gastéropodes ont colonisé tous les milieux (mer, eau douce, terre) et ils présentent une immense variété de formes. Aussi leurs relations phylogénétiques ont été et sont encore largement débattues. Cependant, au cours des dernières années, un certain consensus a émergé sur les principales caractéristiques de la phylogénie de ce groupe, sur la base de très nombreuses données génomiques et d'analyses moléculaires.

C'est ainsi que la classification qui prévalait au cours du 20^{ème} siècle, divisant les Gastéropodes en 3 groupes principaux, Prosobranthes, Opisthobranthes et Pulmonés, a évolué vers 5 groupes majeurs : Patellogastropodes, Vétigastropodes, Néritimorphes, Cænogastropodes et Hétérobranches.



Il existe un 6^{ème} groupe, celui des Cocculiniformia (dénomination INPN) ou Neomphaliones (dénomination WoRMS), beaucoup plus discret car n'étant représenté que par 116 espèces. Il n'a pas été pris en compte.

L'arbre ci-dessus reste donc très simplifié et seuls 4 des grands groupes principaux sont nommés pour au moins 2 raisons : la complexité et l'intérêt pour nous plongeurs.

- 1) Les Gastéropodes représentent près de 81000 espèces connues, soit plus que toutes les espèces de vertébrés réunies. En outre, les relations phylogénétiques au sein de chaque groupe ne sont pas simples car des formes similaires de corps et de coquilles sont apparues plusieurs fois indépendamment. Il en résulte que la monophylie des groupes ou sous-groupes est loin d'être établie en l'état actuel des connaissances.
- 2) Patellogastropodes, Vétigastropodes, Cænogastropodes, et Hétérobranchés, représentent quasiment l'ensemble des Gastéropodes que l'on rencontre couramment en plongée ou dans les laines de mer. Le groupe Néritimorphes (1 505 espèces) n'apparaît pas, car représenté quasiment par un seul ordre, les Cyclonéritidés. Les organismes marins de cet ordre sont souvent inféodés à des milieux particuliers, tels les herbiers ou les eaux saumâtres. On trouve par exemple la nérite émeraude *Smaragdia viridis* dans des herbiers de Zostères ou de Cymodocées en Méditerranée (cf. fiche DORIS).

Patellogastropodes et Vétigastropodes sont des représentants de très anciennes lignées de Gastéropodes parvenues jusqu'à nous en comparaison avec les Cænogastropodes, plus récents, d'où leur nom (« *Caeno* » ou « *Ceno* » qui signifie « nouveau » en grec).

Les représentants de chacun de ces groupes ont tous une coquille unique, qui peut être ronde, plate, conique, lisse, spiralée, portant des épines, etc. On les trouvait dans l'ancienne classification chez les Prosobranches.

Les Hétérobranchés Euthyneuriens rassemblent les Nudibranches (Nudibranchia), les « véritables » limaces de mer sans coquille, mais aussi, les autres limaces de mer avec ou sans coquille externe ou interne, et les gastéropodes pulmonés.

Le terme « Euthyneurien » vient de l'état d'euthyneurie du système nerveux des Hétérobranchés. En effet, tous les Gastéropodes subissent une torsion de leur masse viscérale au cours de leur développement embryonnaire. Chez ces Gastéropodes, une première torsion de la larve véligère est

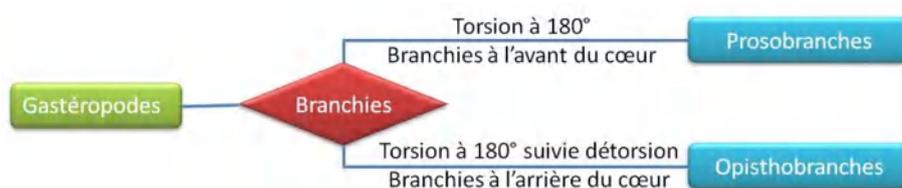
LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

responsable du croisement des connectifs entre les ganglions nerveux. Puis, secondairement, une détorsion de la larve véligère s'opère et le système nerveux se retrouve et demeure alors non croisé. C'est l'état d'euthyneurie.

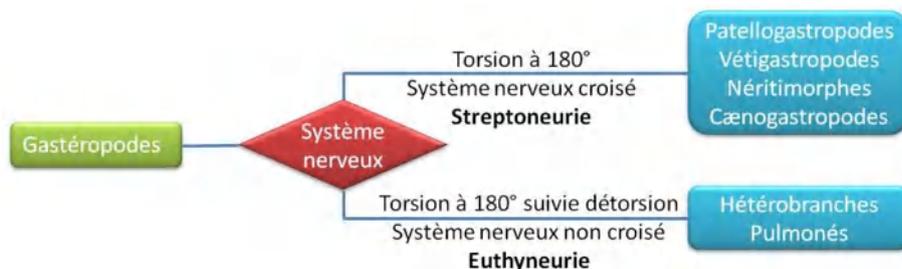
Lorsqu'il n'y a qu'une seule torsion complète et définitive de la larve véligère et que le système nerveux demeure croisé, on parle d'un système nerveux streptoneure. Cette disposition particulière s'observe chez les tous autres Gastéropodes.

On peut ainsi différencier les Gastéropodes sur la base de l'état de leur système nerveux, seul « vrai » témoin de la torsion qu'ils subissent. Ce caractère est plus pertinent que la position des branchies. C'est ainsi que les termes « Prosobranchie » et « Opisthobranchie » n'ont plus aucune signification phylogénétique.

Ancienne classification :



Nouvelle classification :



3.10.1 Légende de l'arbre des Gastéropodes :

Patellogastropodes : Leur coquille est généralement très dure et a une forme conique très aplatie. Ce n'est toutefois pas les seuls Gastéropodes avec ce type de coquille car cette morphologie est apparue plusieurs fois indépendamment au cours de l'évolution des Gastéropodes. Mais Les Patellogastropodes représentent les « vraies patelles ». Ce sont les patelles qui sont communément observées sur les rochers. Toutes les espèces vivantes sont marines. Le pied est très musclé, plus ou moins circulaire et complètement recouvert par la coquille. Il permet à l'animal d'adhérer très fortement au rocher par succion. Ils se nourrissent généralement d'algues. Certaines espèces ont tendance à toujours se protéger dans le même creux de la roche. Au fil du temps, la coquille grandit en copiant cette forme et l'animal est parfaitement protégé.

Vétigastropodes : Ce groupe vaste et diversifié est entièrement marin et comprend des espèces à la fois enroulées et en forme de patelle. Une caractéristique distinctive de nombreux Vétigastropodes est la présence d'une fente ou d'un ou plusieurs trous sur la coquille. Un groupe des Vétigastropodes (Lepetellida), ont un trou au sommet de leur coquille en forme de calotte : les fissurelles (Fissurellidae). Leur nom vient de la forme de ce trou. Les plus célèbres des Vétigastropodes sont les ormeaux (famille Haliotidae, genre Haliotis). Les Vétigastropodes enroulés ont un opercule circulaire, mais celui-ci est absent des groupes qui ont une forme de coquille de patelle ou d'ormeau. La coquille de nombreux groupes de Vétigastropodes est nacrée. Des tentacules épipodiaux (rôle sensoriel) sont présents sur les côtés du pied.

Cænogastropodes : Le groupe des Cænogastropodes est le plus diversifié des Gastropodes (plus de 23 000 espèces vivantes; base de données WoRMS). Les espèces sont présentes non seulement dans les habitats marins, mais également en eau douce et sur terre. Leur mode de vie est très diversifié : herbivores, prédateurs. Ils regroupent la plupart des espèces des anciens Prosobranches.

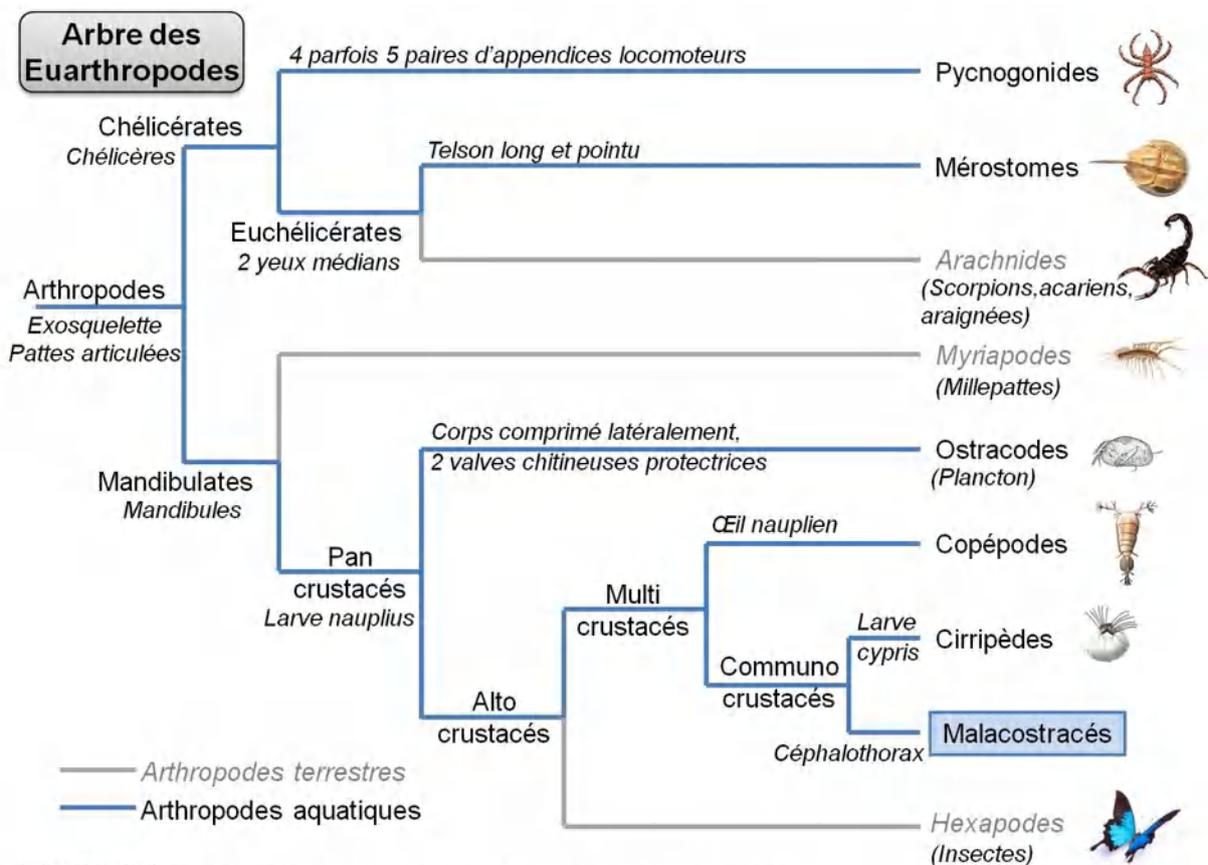
Néogastropodes : Ils se caractérisent par des coquilles avec un canal siphonal. Les Néogastropodes sont tous des prédateurs actifs et, certains, comme les Cônes, possèdent des dards qui peuvent inoculer de puissantes neurotoxines pour immobiliser et capturer leurs proies. Les venins de ces Gastéropodes font actuellement l'objet de recherches en raison de leurs utilisations potentielles dans diverses applications pharmacologiques. Le groupe des Néogastropodes est le seul dont la monophylie a été validée.

Littorinimorphes : Ce groupe est surtout défini par opposition à celui des Néogastropodes : il regroupe tous les Cænogastropodes qui ne sont pas des Néogastropodes. Contrairement à ces derniers, les Littorinimorphes sont encore mal définis, et constituent probablement un groupe paraphylétique. Cet ordre compte principalement des Gastéropodes marins, mais aussi des familles vivant en eau douce et quelques genres terrestres.

Hétérobranches : Gastéropodes à branchies différentes. Tous les hétérobranches ont en commun une coquille larvaire senestre produite au stade le plus précoce par une larve véligère planctonophage. Leur système nerveux est non croisé (euthyneurien).

Nudibranches : Vraies limaces de mer. La cavité palléale et la coquille sont absentes chez l'adulte. Les lobes pédieux sont souvent absents aussi. La respiration est cutanée, à l'aide de branchies, de cérates ou d'autres appendices à l'extérieur du corps. La tête porte une ou deux paires de tentacules ; les tentacules postérieurs ou rhinophores peuvent parfois être rétractés dans des gaines. Principalement marins ou d'eau saumâtre.

3.11 Les Euarthropodes :



Arbre simplifié - D'après la 4^{ème} édition Classification phylogénétique du vivant T1&T2 –Lecointre et Guyader – 2016

Le bouleversement de la classification des Euarthropodes vient principalement du fait de l'intégration des Hexapodes (insectes) au sein des Crustacés.

Traditionnellement, la classification des Euarthropodes réunissait Myriapodes et Hexapodes dans un groupe frère des Crustacés. L'ensemble était classé dans les Mandibulates, les Euarthropodes à mandibules.

Dans les années 1990, les premières phylogénies moléculaires rapprochèrent les Hexapodes des Crustacés faisant apparaître la notion de Pancrustacés, groupe frère des Myriapodes.

Plus tard, dans les années 2010, ce fut au tour des Pancrustacés d'être scrutés.

Les Malacostracés, les Thécostracés (Cirripèdes) et les Copépodes furent réunis dans un nouveau groupe, les Multicrustacés, tandis que les Hexapodes apparaissent au sein d'un groupe frère des Multicrustacés.

Un peu plus tard, d'autres analyses réunirent Hexapodes et Multicrustacés au sein d'un nouveau groupe les Altocrustacés, lui-même groupe frère des Ostracodes, le tout réuni au sein des Pancrustacés.

On le voit, l'intégration des Hexapodes au sein des Crustacés, faisant d'eux, en quelque sorte, des Crustacés terrestres, a multiplié le nombre de groupes complexifiant ainsi la lisibilité de l'arbre.

Quant aux Chélicérates, même si tous les nœuds de leur phylogénie ne sont pas tous résolus, seuls les Pycnogonides et les Mérostomes (Limules) présentent quelques intérêts pour nous plongeurs.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

L'arbre présenté est donc largement simplifié et ne retient que les groupes essentiellement marins. Néanmoins, quelques groupes terrestres caractéristiques y figurent afin d'appréhender la position relative de chacun suite à l'intégration des Hexapodes chez les Crustacés.

L'arbre des Malacostracés est détaillé §3.8.

Note : Les groupes Alto-, Multi-, et Communocrustacés sont soutenus par des phylogénies moléculaires.

3.11.1 Légende de l'arbre des Euarthropodes :

Chélicérates : Leur corps est divisé en 2 parties : le céphalothorax ou prosome, et l'opisthosome, un équivalent d'abdomen car il s'en distingue du fait qu'il regroupe les organes respiratoires (poumons ou branchies), le cœur, le système digestif, y compris l'anus, et le système reproductif avec les gonades. Leur première paire d'appendices est caractéristique du groupe : les chélicères. Ces appendices sont immédiatement avant la bouche et sont utilisés pour saisir la nourriture. La nutrition se fait, dans la très grande majorité des cas, par succion. La deuxième paire d'appendices, les pédipalpes, est diversement spécialisée selon les organismes : pinces, organes sensoriels, organes locomoteurs.

Pycnogonides : Animaux marins ressemblant à des araignées. Ils sont de très petite taille (de 1 à 10 mm) bien que certains soient de taille respectable mais non accessibles aux plongeurs car vivant à de très grandes profondeurs. Ils possèdent un proboscis, une trompe préorale leur permettant l'aspiration des tissus de leurs proies. La plupart sont carnivores (prédateurs de Cnidaires, Bryozoaires, petits Polychètes ou Eponges) mais certains se nourrissent d'algues ou de détritus. Le mâle, mais parfois la femelle, porte les sacs ovigères. L'animal a quatre, parfois cinq, paires d'appendices locomoteurs.

Euchélicérates : Leur prosome (céphalothorax) porte une carapace en bouclier. Il y a deux yeux médians.

Mérostomes : Les Mérostomes sont actuellement représentés uniquement par les Limules (Xiphosures). Ils comprennent par contre de très nombreuses espèces fossiles (Euryptérides). Les Limules sont caractérisées par une carapace à la forme très reconnaissable, en forme de fer à cheval. Autre caractéristique du groupe : leur opisthosome porte un telson long et pointu en forme d'épine. L'opisthosome porte six paires d'appendices ; la première est soudée et forme un opercule génital, tandis que les autres paires sont transformées en branchies toujours en mouvement et pouvant servir d'aide à la nage. Les Limules vivent généralement sur des fonds de sable où elles s'enfouissent. Ce sont des prédateurs ou des nécrophages.

Mandibulates : La tête porte des mandibules, c'est-à-dire des appendices, fortement chitinisés, pouvant couper ou broyer selon les régimes alimentaires.

Pancrustacés : La larve est un nauplius, c'est-à-dire un organisme ne présentant pas de segmentation et doté de trois paires d'appendices natatoires, respectivement, de l'avant à l'arrière, les antennules, les antennes, et les mandibules.

Ostracodes : Ils font partie du zooplancton (de 0,2 à 30 mm). Certains ont un organe de luminescence, doté de substances bioluminescentes utilisées contre la prédation ou pour la rencontre des sexes avant l'accouplement. Leur corps est protégé par 2 grandes valves articulées dorsalement. La segmentation du corps s'estompe, tandis que l'abdomen est régressé ou absent tout

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

comme les appendices thoraciques. Les antennes sont développées en organes natatoires. Il n'y a ni cœur, ni système circulatoire.

Altocrustacés : Groupe réunissant les Miracrustacés et les Véricrustacés ne figurant pas sur l'arbre présenté, dans un souci de simplification.

Pour info : Les Miracrustacés contiennent les Hexapodes. Les Véricrustacés contiennent les Multicrustacés ainsi que les Branchiopodes, groupe frère des Multicrustacés. Les Branchiopodes (Daphnies, Artémies) sont des animaux majoritairement d'eau douce, adaptés à la vie dans des milieux temporaires et pouvant supporter de grandes variations de salinité (Artémies).

Multicrustacés : Groupe réunissant les Copépodes et les Communocrustacés.

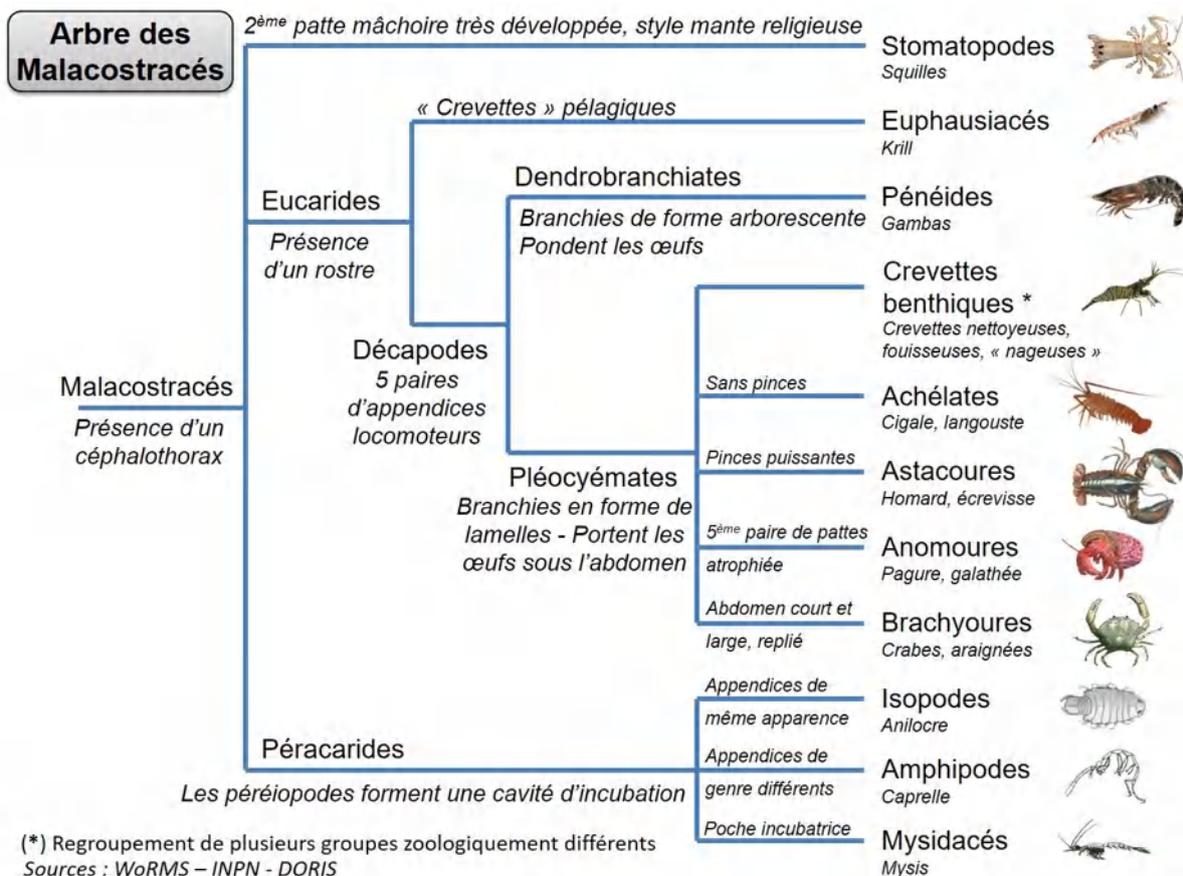
Copépodes : Ce sont de petits crustacés libres ou parasites. La tête formée de 5 segments est fusionnée avec le premier, voire le second segment thoracique. L'abdomen est constitué de 5 segments dépourvus d'appendices, sauf à son extrémité où existent deux rames caudales munies de soies formant la furca. Les antennes sont natatoires. Il n'y a ni système circulatoire, ni cœur et la plupart n'ont pas de branchies. Il existe un seul œil composé médian, l'œil nauplien, lorsque celui-ci n'est pas régressé.

Communocrustacés : Regroupent les Thécostracés et les Malacostracés. Les Thécostracés réunissent 3 groupes d'organismes qui ne se ressemblent pas à priori. Parmi ceux-ci seuls les Cirripèdes ont un intérêt pour les plongeurs. Parmi les 2 autres, l'un est parasite des Cnidaires et des Echinodermes, l'autre n'est constitué que d'un seul genre dont on ne connaît que le stade larvaire, le stade adulte restant méconnu.

Cirripèdes : Le développement de la larve nauplius passe par 5 stades naupliaux avant d'atteindre le stade de larve cypris caractéristique du groupe. La larve cypris est le dernier stade larvaire avant la fixation définitive et la métamorphose vers la forme adulte. Les Cirripèdes se fixent durablement sur un substrat dur, soit par la carapace (les Balanes), soit par un pédoncule (les Pouces-pieds). Un anneau formé de six plaques, homologue de la carapace d'autres crustacés, entoure le corps. Ces plaques sont diversement reliées entre elles selon les espèces et peuvent être parfois fusionnées. L'animal se tient sur le dos, ses appendices étendus vers le haut. Les six paires d'appendices thoraciques, nommés cirres, sont utilisés pour attraper les particules en suspension (plancton) et les diriger vers la bouche. Les Cirripèdes n'ont ni cœur, ni système circulatoire, ni branchies. Le dioxygène pénètre par les cirres plumeux.

Malacostracés : Tous les crustacés communément connus sont des Malacostracés. La partie antérieure du corps est structurée en céphalothorax. Le céphalon porte un maximum de 3 paires de maxillipèdes. Le thorax comporte 8 segments, l'abdomen 6 à 7 segments, telson non compris. Sur l'abdomen, on compte 5 paires de pléopodes biramés ainsi qu'une paire d'uropodes, également biramés. Ils ont conquis tous les milieux. Ils peuvent être nageurs (krill), marcheurs (crabes), marins, dulcicoles (écrevisses) ou terrestres (cloportes). Certains sont parasites (Isopodes).

3.12 Les Malacostracés :



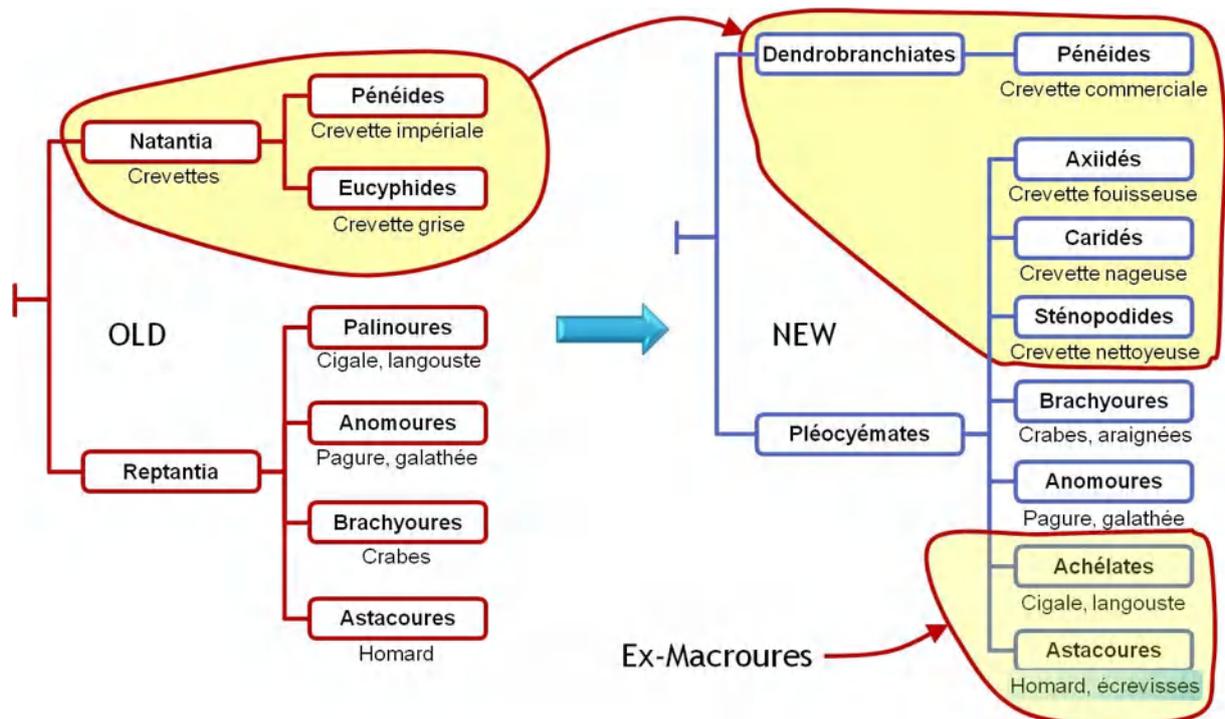
La classification des Malacostracés est aux Arthropodes ce que la classification des Gastéropodes est pour les Mollusques : compliquée.

En effet, les Décapodes étaient traditionnellement divisés en 2 ordres : les Reptantia, composés de crabes, de homards et de bien d'autres qui se déplacent principalement en marchant sur le fond ; et les Natantia comprenant les familles qui se déplacent principalement en nageant, essentiellement les crevettes.

Ces 2 groupes aujourd'hui n'ont plus de signification phylogénique parce que paraphylétiques, de même que le groupe des Macroures désignant des crustacés à l'abdomen bien développé. Ils ne sont plus acceptés en tant que groupes dans la classification WoRMS, et ils ne sont plus cités dans la classification INPN.

Les Décapodes se divisent désormais 2 sous-ordres : les Dendrobranchiates et Pléocyémates.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

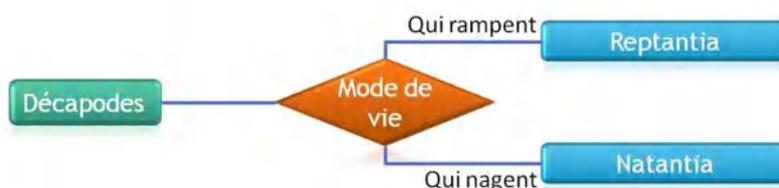


Ces derniers ont été introduits en 1963 par Martin Burkenroad, biologiste marin américain, pour remplacer Natantia et Reptantia. En fait, il regroupa tous les Décapodes qui incubaient leurs œufs sur les pléopodes (c'est-à-dire quasiment tous) dans le groupe des Pléocyémates (Pleocyemata), laissant le groupe des Dendrobranchiates (Dendrobranchiata) dans lequel on ne retrouvait plus que les seuls Pénéidés (Penaeidea) sur la base de la forme de leurs branchies.

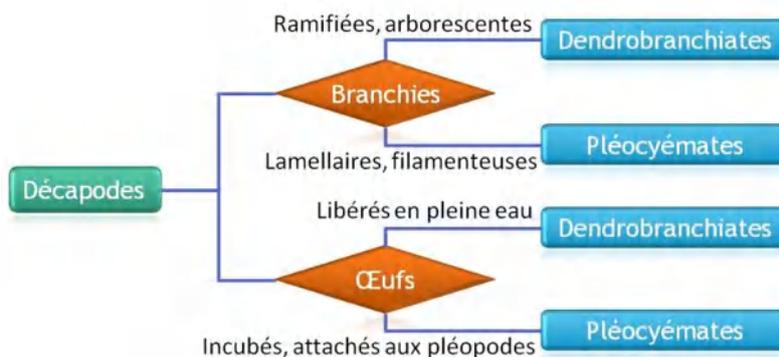
Ce n'est que plus de 20 ans après, que les données moléculaires consolideront cette classification.

Ainsi les Décapodes ne sont plus divisés par leur mode de vie (qui nagent, qui rampent) mais sur la base de l'incubation des œufs et la structure des branchies.

Ancienne classification :



Nouvelle classification :



3.12.1 Légende de l'arbre des Malacostracés :

Eucarides : Les Eucarides possèdent une carapace soudée à tous les segments, lesquels se trouvent ainsi unis en un céphalothorax. La carapace s'allonge en rostre en avant. Les yeux sont toujours pédonculés.

Péracarides : Les péréiopodes, les appendices thoraciques des femelles présentent une expansion lamellaire, les oostégites. Celles-ci délimitent avec la paroi ventrale du corps une poche incubatrice et protectrice dans laquelle se développent les œufs. L'éclosion se fait à un stade proche de celui de l'adulte.

Décapodes : Ils ont cinq paires d'appendices locomoteurs (pinces comprises) d'où leur nom. Les yeux pédonculés sont composés. Les segments thoraciques sont fusionnés avec la tête pour former le céphalothorax. La première paire de péréiopodes est transformée en pinces. La plupart sont marins et benthiques.

Dendrobranchiates : Ils possèdent des dendrobranchies. Les branchies fixées à la base des pattes sont d'un type bien particulier : les lamelles branchiales sont découpées en de multiples arborescences. La fécondation a lieu en pleine eau, il n'y a pas d'incubation des œufs sous l'abdomen. Les larves éclosent au stade nauplius.

Pléocyémates : Les Pléocyémates possèdent des branchies de structure filamenteuse ou lamellaire (phyllobranchies) par opposition à la structure ramifiée trouvée chez les Dendrobranchiates. Les œufs ne sont pas émis directement dans l'eau, mais incubés, en général attachés aux pléopodes de la femelle, jusqu'à ce que les larves zoé soient prêtes à éclore.

Stomatopodes : Organismes en forme de crevette. La 2e paire de pattes mâchoires préhensile est fortement développée ressemblant à une patte de mante religieuse.

Euphausiacés : La carapace recouvre, en les réunissant, tous les segments thoraciques. Les deux premiers appendices thoraciques ne sont pas transformés en maxillipèdes. Les Euphausiacés se distinguent des « autres » crevettes par les premières paires de péréiopodes qui ne sont jamais différenciées en pattes-mâchoires et leurs branchies externes qui sont très développées et bien visibles. Les pléopodes permettent la nage. En outre, tous, ou presque, sont pourvus d'organes lumineux ou photophores.

Pénéidés : Les dernières paires de péréiopodes (4^{ème} et 5^{ème} paires) sont bien développées. Les 3^{ème} et 4^{ème} paires de pléopodes sont sans endopodite (branche interne des appendices biramés qui sert à la locomotion). Les espèces de crevettes les plus répandues en élevage appartiennent aux Pénéidés au point de devenir un domaine de l'aquaculture spécialisé, la pénéculture, ou pénaeiculture.

Crevettes benthiques : Ce groupe n'a rien d'un groupe phylogénique. Dans un souci de simplification, il regroupe entre autres :

Axiidés : "Crevettes" fouisseuses caractérisées par un céphalothorax bien développé, une première paire de péréiopodes transformée en grosses pinces asymétriques et par un abdomen allongé et aplati. Ce groupe remplace en bonne partie l'ancien clade des Thalassinidea (avec les Gebiidea).

Caridés : Les Caridés sont caractérisés par des pléopodes natatoires. C'est à ce groupe qu'appartiennent une grande partie des espèces de crevettes.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

Sténopodides : Les Sténopodides sont proches des Caridés, mais leur 3ème paire de chélipèdes (péréiopodes portant une griffe en forme de pince servant à la préhension) est bien plus grande. La carapace est souvent épineuse. Espèces nettoyeuses de poissons.

Achélates : Les Achélates (anciennement Palinoures) sont caractérisés par une première paire d'appendices dépourvue de pinces : ce sont les langoustes et les cigales de mer.

Astacoures ou **Astacidés** : Les Astacoures regroupent des crustacés allongés possédant une puissante paire de pinces. Ce sont les homards, langoustines qui ont un développement larvaire et les écrevisses qui ont un développement direct.

Anomoures : Les Anomoures sont caractérisés par une cinquième paire de pattes atrophiée. Ils sont essentiellement représentés par les Galathées (Galatheoidea) et les Bernard l'ermite (Paguroidea).

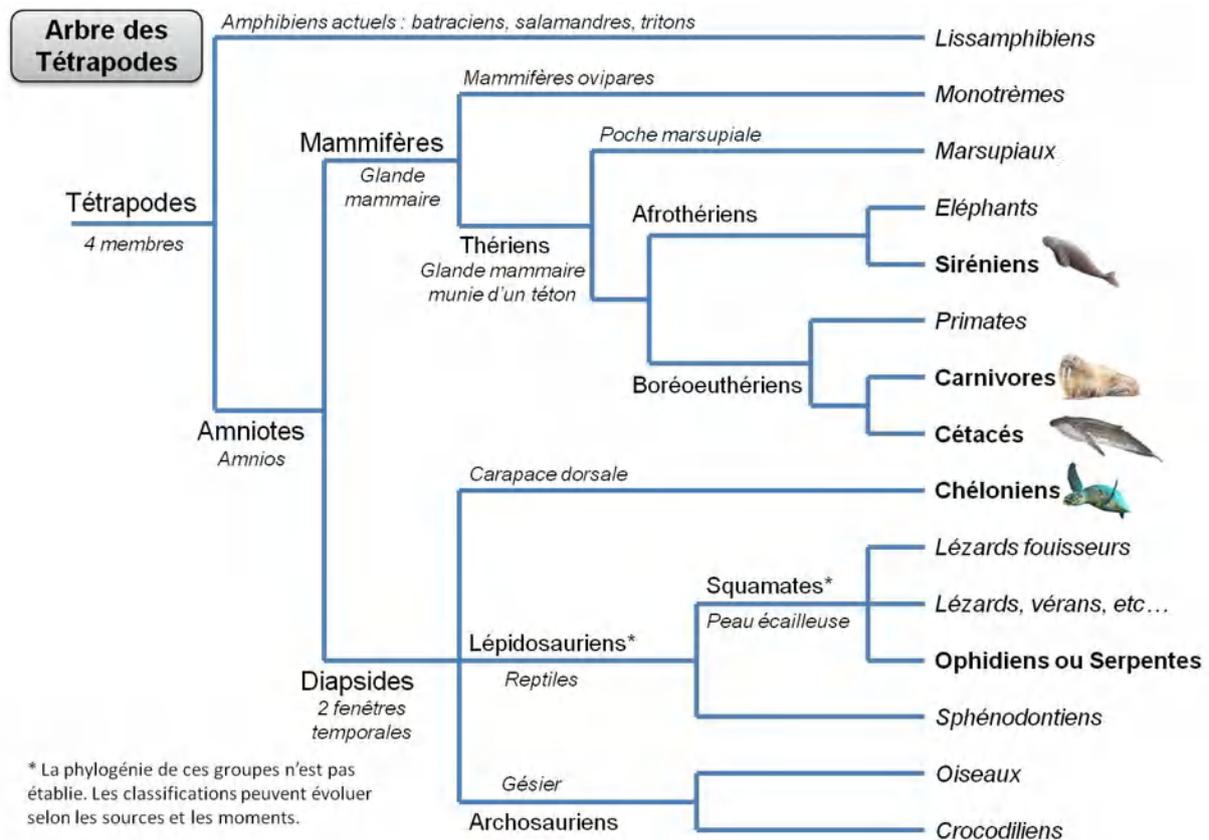
Brachyoures : Les Brachyoures ont un abdomen large et court, replié sous le céphalothorax. Ils sont représentés par les Crabes et les Araignées de mer.

Isopodes : Leur corps est comprimé dorso-ventralement. La première paire d'antennes est beaucoup plus petite que la seconde, les yeux ne sont pas pédonculés. Les 7 paires de pattes sont de même apparence. Nombreuses adaptations à des formes de vie très variées : ils peuvent être terrestres (cloportes), vivre en eau douce (aselles), être parasites de poissons (anilocres) ou de crustacés (bopyres des crevettes).

Amphipodes : Ce sont des Pércarides comprimés latéralement, dépourvus de carapace, et possédant de nombreuses paires d'appendices souvent modifiés, de genre différent. Ils sont représentés par les gammars, les talitres, les caprelles...

Mysidacés ou **Mysidés** : Parmi les Pércarides, ce sont les seuls ressemblant à des crevettes : une carapace protégeant une grande partie du thorax, des yeux pédonculés, des antennules et des pattes thoraciques biramées, des antennes avec un large exopodite en écaille, branche externe des appendices biramés servant à la respiration (on parle alors de branchies) ou la nage ou les deux. Les uropodes et le telson forment un éventail caudal. Leur taille est inférieure à 3 cm. Les Mysidacés sont aussi appelés Mysis en raison de la poche incubatrice que possèdent toutes les femelles adultes. Le développement s'effectue dans cette poche et, à l'éclosion, les jeunes ressemblent beaucoup aux adultes.

3.13 Les Tétrapodes :



D'après la 4^{ème} édition Classification phylogénétique du vivant T1&T2 – Lecoindre et Guyader - 2016

L'arbre des Tétrapodes n'apporte pas de nouveautés en soi bien que les classifications des Diapsides peuvent encore évoluer. Les Tétrapodes « marins » (en caractères gras) sont seulement représentés au sein du groupe afin de mieux les situer les uns par rapport aux autres Tétrapodes terrestres ou amphibiens (en caractères italiques)

Cela permet en outre de répondre à la question souvent posée : « Et l'homme, il est placé où ? »

3.13.1 Légende de l'arbre des Tétrapodes :

Tétrapodes : Les Tétrapodes sont caractérisés par des membres pairs locomoteurs munis de doigts. La première vertèbre cervicale se spécialise et la ceinture scapulaire se sépare de la tête (naissance du cou). Il existe un conduit lacrymal entre l'œil et le sac nasal.

Amniotes : Les Amniotes sont des Tétrapodes affranchis du milieu aquatique pour leur reproduction. En effet, une membrane, l'amnios, entoure l'embryon et forme un sac renfermant le liquide (liquide amniotique) dans lequel le jeune se développe.

Mammifères : La glande mammaire est caractéristique des mammifères. Elle synthétise le lait, le seul aliment des nouveau-nés. Les glandes mammaires sont disposées en nombre pair. Les poils, le muscle érecteur et la glande sébacée associés, sont également des caractères propres aux Mammifères. La ventilation des poumons s'effectue par la contraction d'un muscle spécialisé le diaphragme.

Thériens : La paroi latérale du crâne est constituée de deux os particuliers: l'alisphénoïde et le squamosal. La glande mammaire est munie d'un téton. La cochlée est en forme de spirale munie d'au

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

moins un tour. Au stade blastula, la paroi du blastocœle n'est constituée que d'une seule couche de cellules (blastocœle unilaminaire).

Afrothériens et Boréoeuthériens : L'apparement de ces groupes se fonde sur de nombreux traits moléculaires. Ils appartiennent au groupe des Euthériens chez lesquels le développement embryonnaire est effectué entièrement dans l'utérus (Mammifères placentaires). Il y a présence d'une dentition lactéale.

Siréniens : Les Siréniens ont un corps massif, allongé cylindrique aux formes arrondies par une épaisse couche de graisse. Des poils tactiles subsistent sur le museau. Ce sont des Mammifères brouteurs d'algues et de plantes aquatiques des eaux chaudes, à vie exclusivement aquatique, comportant très peu d'espèces actuelles (4 à 5) réparties dans deux genres : le Dugong (Indo-Pacifique) strictement marin, possédant une nageoire caudale bilobée en forme de fourche, et, le Lamantin (Atlantique), vivant en milieu littoral ou dulcicole et présentant une nageoire caudale très arrondie. Les membres postérieurs sont perdus et il n'y a pas de vestige de bassin. Les mains forment une palette natatoire. Leurs os sont denses et lourds. Tous les Siréniens sont menacés d'extinction.

Carnivores : Présence de dents carnassières et de crocs : les incisives sont tranchantes, les canines sont développées en crocs longs et aigus, les prémolaires sont aplaties et sécantes et les molaires sont tranchantes. Ils sont pour la plupart carnivores. Les Pinnipèdes (Otaries, phoques, morses) et les Lutrinés (Loutres) sont des Carnivores amphibies. Ils ont un mode de vie qui n'est qu'en partie aquatique. Ils se nourrissent en plongée, principalement de poissons mais aussi d'invertébrés marins. Ils viennent à terre pour se reproduire, et fréquemment aussi pour se reposer, réguler leur température et pour échapper à leurs principaux prédateurs.

Cétacés : Les Cétacés sont des Mammifères marins totalement inféodés au milieu aquatique, pouvant vivre en haute mer. Leur corps est fuselé, dépourvu de poils (ou vestigiaux), et leurs narines se sont déplacées au cours de l'évolution pour rejoindre le dessus de la tête. Leurs membres antérieurs sont transformés en palettes natatoires, tandis que les membres postérieurs ont régressés. Ils ont développé une nageoire caudale horizontale au rôle locomoteur important, et de nombreuses autres adaptations à la vie aquatique : épaisse couche de graisse sous-cutanée, écholocation, système cardio-vasculaire permettant de longues apnées... On distingue les cétacés à dents (Odontocètes) et les cétacés à fanons (Mysticètes) Leur vie sociale est importante.

Chéloniens : Les tortues, sont aisément reconnaissables à leur carapace protégeant le tronc formée de 2 pièces : le plastron (partie ventrale) et la dossière (partie dorsale). La carapace dorsale est constituée d'os plats soudés les uns aux autres et surmontés ou pas d'écailles épaisses. De nombreuses espèces sont aquatiques (marines ou dulcicoles), certaines sont terrestres. Elles sont ovipares et peuvent être carnivores, herbivores ou omnivores. Chez les Chéloniens actuels, il y a un bec corné.

Ophidiens ou Serpentes : C'est le groupe des serpents au sens large. Les serpents aquatiques appartiennent à ce groupe. Ils peuvent être marins ou fréquenter les eaux douces (Couleuvre vipérine, Couleuvre à collier). Parmi les serpents marins, certains ont une vie totalement aquatique (*Aipysurus laevis* serpent marin olive), même s'ils doivent remonter en surface pour ventiler, d'autres ont un mode de vie amphibie (*Laticauda laticaudata* tricot rayé). Les serpents marins appartiennent tous au groupe des *Elapidae* qui rassemblent aussi des serpents terrestres, mais tous sont venimeux, leur venin étant plus ou moins toxique. On trouve dans ce groupe les deux serpents aux venins les plus toxiques connus : le serpent terrestre *Oxyuranus microlepidotus* (Taïpan du désert) et le serpent marin *Enhydrina schistosa* (Serpent marin à bec). Les serpents marins ne sont présents que dans la partie tropicale et subtropicale des océans Indien et Pacifique et absents dans l'océan Atlantique.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Ce qui change

Leur corps est recouvert d'écaillés et se termine par une queue aplatie verticalement pour leur permettre une nage plus efficace.

Leur classification phylogénétique est toujours débattue.

4. COMMENT ABORDER LA CLASSIFICATION DANS LES FORMATIONS PB1 ET PB2 ?

Il était confortable avec les classifications dites traditionnelles de pouvoir décrire les caractères qui différenciaient les grands groupes ou embranchements.

Ceux-ci étaient issus soit de la morphologie/anatomie, soit de l’embryologie. On pouvait donc les observer ou bien les illustrer facilement.

Aujourd’hui, on sait que certains de ces caractères ne sont plus exclusifs à un groupe et qu’ils ont été remplacés par d’autres caractères, parfois anatomiques, mais très souvent moléculaires.

Il devient donc difficile de pouvoir les décrire et de les illustrer dans nos formations. Il nous faut donc adapter notre discours (cf. chapitres 2 et 3)

Alors comment aborder cette classification ?

Un article rédigé par Line LE GALL, maître de conférences, spécialiste de la diversité des algues au Muséum national d’histoire naturelle (MNHN) et plongeur scientifique, peut nous éclairer sur la façon d’aborder la classification pendant les cursus PB1 et PB2.

On peut retrouver en intégralité cet article « *Biodiversité : la mer a encore de nombreux secrets à nous livrer* » republié à l’occasion de la Fête de la Science en octobre 2020, sur le site suivant : <https://theconversation.com/biodiversite-la-mer-a-encore-de-nombreux-secrets-a-nous-livrer-145787>

Dans cet article, elle décrit les méthodes employées lors de grandes expéditions scientifiques auxquelles elle participe dans le cadre du programme « *La planète revisitée* » du MNHN.

Je cite :

« *...Les explorations historiques ont permis la description des espèces qui ont servi d’échafaudage pour établir des classifications. Il nous apparaît aujourd’hui opportun de poursuivre ces explorations, avec une méthodologie renouvelée...*

...Les équipes de terrain déploient désormais des modes d’échantillonnage capables de cibler des taxons dont l’étude a été négligée jusqu’alors. C’est notamment le cas pour les mollusques, les crustacés et les algues. Cette stratégie d’échantillonnage implique d’explorer tous les habitats d’une région donnée afin de maximiser la diversité des espèces récoltées... »

Prélèvements en fonction des biotopes :

« *...Sur la base des cartographies des habitats marins réalisées grâce à des sondeurs multifaisceaux, les organismes sont récoltés pour chaque lieu au moyen d’aspirateurs sous-marins et de paniers de brossages qui permettent de prélever la faune de taille millimétrique qu’il n’est pas possible de repérer à l’œil nu lors d’une plongée. »*

Tri à partir de clés de détermination :

« *...Les spécimens sont ensuite rapportés rapidement au laboratoire où ils sont triés par taille et par grand groupe avant d’être photographiés vivants puis fixés (le plus souvent dans de l’alcool) pour leur préservation... »*

Systematique :

« *...À l’issue de l’expédition, tous ces spécimens sont intégrés dans les collections du Muséum et sont étudiés par les spécialistes de chaque groupe. Les données d’occurrence sont versées à l’Inventaire national du patrimoine naturel... »*

Taxonomie :

« ...Si une espèce nouvelle est détectée, elle est formellement décrite dans une publication et officiellement reconnue et dénombrée dans le recensement de la diversité... »

Sur la base de cet article, on peut calquer nos cursus PB1, PB2 et faire un parallèle pour parler de classification. Ainsi, le plongeur PB1 serait le plongeur scientifique récoltant et triant les échantillons ; le plongeur PB2 serait alors le spécialiste qui classerait et nommerait les espèces de ces échantillons.

4.1 La classification au PB1 :

4.1.1 Clés de détermination vs classification :

Le plongeur PB1 est avant tout un plongeur dont on éduque le regard et qui doit pouvoir reconnaître les différentes espèces des groupes les plus souvent rencontrés en plongée.

Il a donc besoin d’éléments observables qui lui permettent de pouvoir prendre une décision, dans ce cas, donner un nom à une espèce. C’est le rôle d’une clé de détermination qui, à l’aide de critères observables présents ou absents, permet de dire, par exemple :

« J’ai reconnu une anémone car c’était un organisme fixé, sans coquille ou tube, avec une forme de fleurs et avec une simple couronne de tentacules autour de la bouche. C’est un cnidaire. »

Ou bien

« J’ai reconnu une méduse car c’était un organisme mobile, sans pattes ni coquilles, avec une symétrie radiale et un corps translucide avec des tentacules ou filaments. C’est un cnidaire. »

Si d’un point de vue identification, l’objectif est rempli, il n’en va pas de même pour la classification car il va falloir expliquer pourquoi ces 2 organismes apparemment si différents appartiennent au même groupe des Cnidaires.

On trouve le même défi avec les Mollusques.

Il faut donc au PB1 introduire la classification non pas à partir de critères observables mais à partir des *caractères exclusifs observables* propres à chaque groupe. Certains de ceux-ci peuvent être des critères des clés de détermination, telles les pattes articulées des Arthropodes, mais d’autres seront invisibles en plongée tels les cnidocytes ou les colloblastes.

Ces caractères exclusifs doivent faire partie des mots clés à retenir pour chaque groupe. Le choix de ces mots clés est délicat car il est contraint d’une part, par la nécessité de donner des éléments de compréhension pour des notions de classification et d’autre part, par la nécessité de respecter la différence entre PB1 et PB2. Un travail de réflexion au sein d’une même équipe pédagogique est alors nécessaire afin que chacun partage les mêmes mots clés.

Ces caractères exclusifs, ne peuvent être introduits que lorsqu’on décrit le groupe concerné. En conséquence, la classification au PB1 ne peut être abordée qu’en fin de formation, lorsque l’ensemble des embranchements a été vu. Il semble illusoire de commencer le stage PB1 par la classification car ces caractères exclusifs, ces mots clés, n’auraient guère de signification sortis de leur contexte.

En fin de formation, les stagiaires PB1 peuvent donc associer les groupes décrits et leurs caractères exclusifs observables en plongée sauf quelques cas particuliers comme par exemple, les Cnidaires ou les Cténophores pour ne citer qu’eux.

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Comment l’enseigner ?

C’est à ce moment que l’on peut introduire les grands principes qui sous-tendent la classification phylogénétique :

- Visualiser l’évolution des êtres vivants
- Regrouper les êtres vivants qui partagent des caractères exclusifs hérités d’un ancêtre commun

On pourrait illustrer ces principes par la description de la méthode cladistique pour montrer comment se construit un arbre de parenté, mais cela m’apparaît hors sujet pour des plongeurs dont l’objectif est d’identifier ce qu’ils voient. De plus, s’ils semblent faciles à énoncer, il n’en est pas de même lorsque l’on veut les mettre en application (cf. annexe 2)

4.1.2 Faut-il présenter l’arbre du vivant ?

S’arrêter à décrire les différents embranchements par leurs caractères exclusifs et ne pas présenter l’arbre qui traduit l’évolution et la diversité du monde vivant, peut laisser s’installer une confusion entre les clés de détermination qui permettent de trier, et la classification qui indique des liens de parenté.

Mais s’il est facile d’associer un embranchement et ses caractères exclusifs, il n’en va pas de même pour rassembler ceux-ci à partir de nouveaux caractères pour définir d’autres groupes et ainsi, de proche en proche, remonter dans l’arbre du vivant.

En effet, certains caractères exclusifs nécessaires à ces regroupements font appel à des notions qui ne sont pas abordées au cours de la formation PB1 : cellules, tissus, clivage de l’œuf, larve. La difficulté viendra donc de comment introduire ces caractères qui seront sortis de leur contexte car les notions auxquelles ils font appel, manquent.

Une solution pour éviter ces écueils serait de présenter un arbre très simplifié, ne retenant que 6 mots nouveaux : Eucaryotes, Métazoaires, Eumétazoaires, Bilatériens, Protostomiens et Deutérostomiens. Ces nouveaux mots peuvent être facilement introduits en ne décryptant uniquement leur étymologie, tout en les associant à des « boîtes imbriquées » pour représenter l’évolution des êtres vivants et les groupes qu’ils rassemblent.

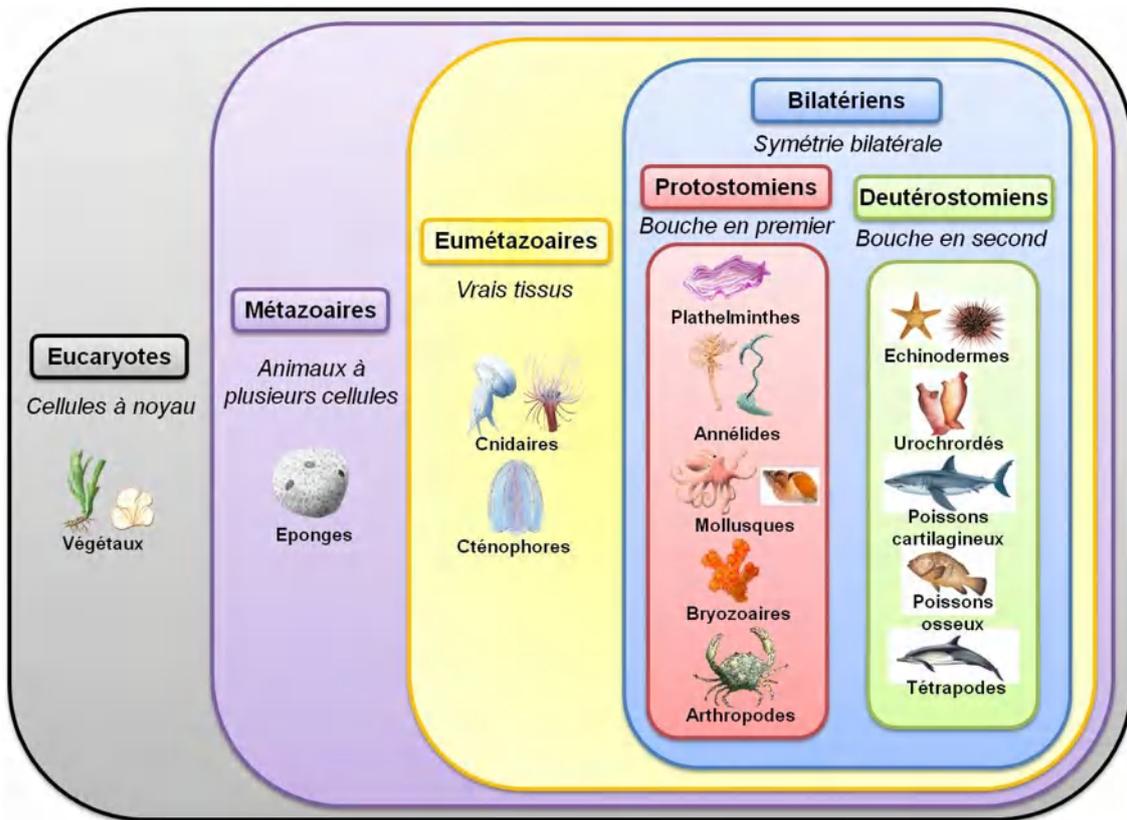
Ainsi, de proche en proche, en partant de la droite vers la gauche, on peut reconstruire un arbre, les traits indiquant les liens de parentés.

Exemple : Les Echinodermes, les Urochordés, tous les poissons et les Tétrapodes peuvent être rassemblés car, au cours du développement de leur embryon, celui-ci commence à construire l’anus avant la bouche d’où leur nom « Deutérostomien ». Même chose pour les Protostomiens, mais avec réserve car il y a des exceptions.

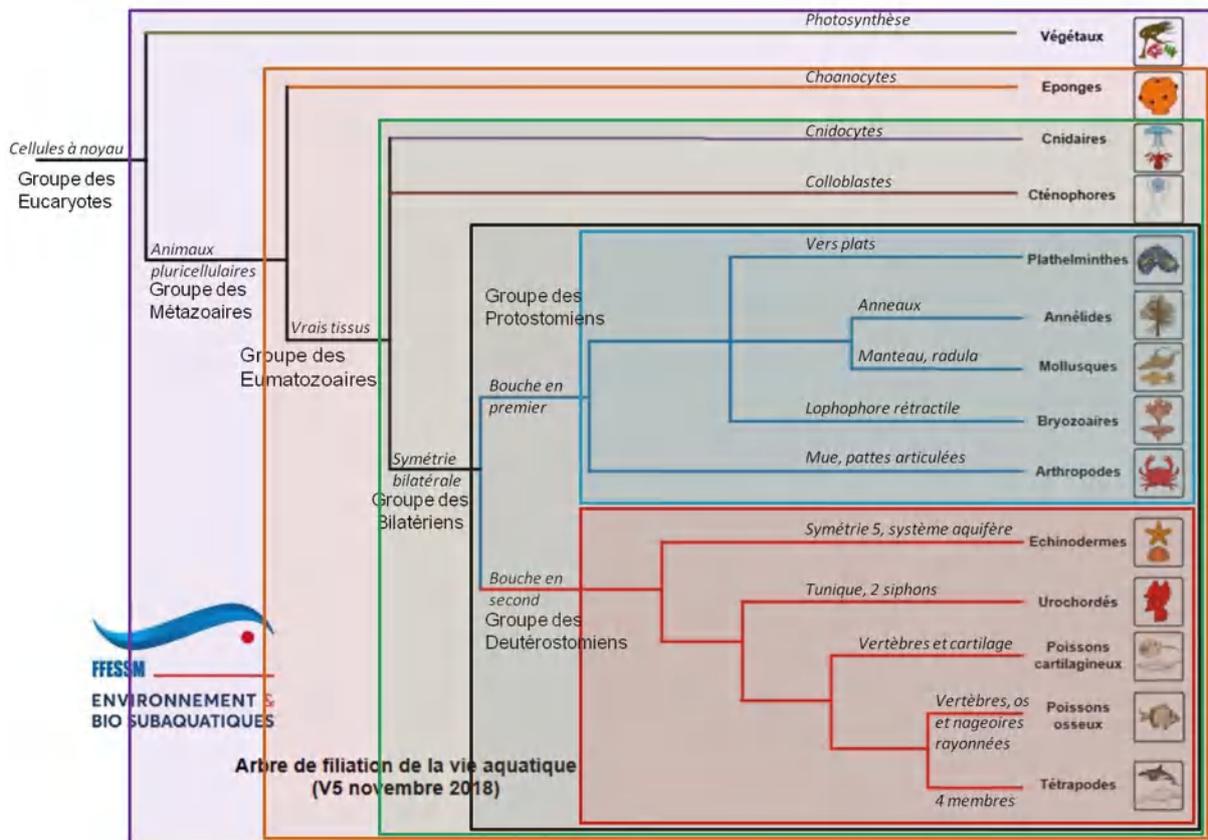
Puis, Deutérostomiens et Protostomiens peuvent être à nouveau rassemblés dans un groupe appelé Bilatériens, car leurs embryons présentent une symétrie bilatérale, à savoir un avant/arrière, un dessus/dessous et un côté droite/gauche.

Et ainsi de suite, jusqu’au groupe des Eucaryotes. (Se reporter au § 3.3.1 Légende arbre des Eucaryotes, pour retrouver la description des groupes).

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Comment l’enseigner ?



On peut alors reconstruire l’arbre de filiation à partir de l’arbre vierge téléchargeable à partir du site de la CNEBS/FFESSM dans les documents officiels.



LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Comment l’enseigner ?

En fin de formation, cet exercice peut se faire par les stagiaires PB1 afin de capitaliser leurs acquis.

L’arbre vierge peut être communiqué dès le début de formation sous forme papier. Cela permet :

- 1) De suivre l’évolution de la formation
- 2) De noter pour chaque groupe, les caractères clés à retenir et ainsi les restituer en fin de formation pour reconstruire l’arbre de filiation au cours de l’exposé sur la classification phylogénétique.

Cette solution m’apparaît plausible, car au cours des 2 dernières formations PB2, en tout début de stage (révision du PB1), si les stagiaires savaient très bien associer les embranchements avec leurs caractères, cela devenait plus compliqué pour remonter dans l’arbre, bien que les termes « eucaryotes », « protostomiens » ou « deutérostomiens » soient bien assimilés.

4.2 La classification au PB2 :

De part le contenu de la formation PB2, la classification apparaît plus simple à aborder, dès l’instant où les notions de cellules, de tissus et d’embryogénèse ont été traitées.

Dès lors, il est facile d’illustrer les caractères retenus pour la classification des espèces. De plus, ces notions permettent de poser les bases de développement de tout être vivant et ainsi d’illustrer l’unicité et la diversité du monde vivant.

On peut même en détaillant la notion de cellule, aller vers la notion d’ADN et ainsi introduire les données moléculaires qui sont aujourd’hui, les principales données utilisées pour l’élaboration d’un arbre phylogénétique.

Ainsi, fort de ces connaissances préalables, on peut travailler à partir des nouveaux arbres présentés précédemment.

On peut aussi expliquer comment est construit un arbre, et en construire un, sous forme de jeu à conditions, toutefois, que ça soit simple. Pour cela, l’échantillon à classer doit avoir moins de 10 espèces et les caractères homologues choisis ne doivent pas prêter à confusion (cf. annexe 2). Il est important de bien définir et utiliser un vocabulaire précis afin d’éviter toute ambiguïté. Quelques exemples :

- Les tentacules : celles-ci peuvent être à ventouses, urticantes ou sensorielles. La précision du vocabulaire employé va permettre d’attribuer les bons caractères au bon groupe d’espèces.
- Les nageoires : préciser si elles sont à rayons osseux ou à rayons cartilagineux,
- Les pattes : ce sont des membres ou bien des pattes articulées
- Les coquilles : celles-ci peuvent être internes ou externes d’une seule pièce en forme de spirale, ou bien formées de 2 valves...

L’utilisation un vocabulaire précis pour décrire les caractères permettra de construire un arbre sans équivoques.

On peut compléter cet aspect de la classification par au moins trois points clés de l’histoire des classifications :

- La nomenclature binominale (Karl Von Linné)
- La théorie de l’évolution (Charles Darwin)
- La méthode cladistique (Willy Hennig)

LA CLASSIFICATION DU VIVANT –Comment l’enseigner ?

Ces trois points clés ont l’avantage d’être parvenus jusqu’à nous et sont toujours d’actualité. Ils peuvent aussi être abordés au PB1.

Au PB2, il est possible de mettre l’accent sur les conséquences de la méthode cladistique sur la classification traditionnelle (cf. §2.2).

On le voit, du fait de l’approfondissement des connaissances au PB2, on peut effectivement aborder de très nombreux aspects de la classification phylogénétique.

Il faut cependant se poser la question de ce qui est juste et nécessaire pour comprendre la classification afin de ne pas aller trop loin et submerger les plongeurs PB2. L’objectif d’un plongeur PB2 est de partager et donc il doit pouvoir expliquer à autrui, sur des bases simples, ce qu’est la classification. Il faut donc qu’il en retienne l’essentiel.

5. CONCLUSION :

Me voici arrivé au terme de ce mémoire. Ecrire ce mémoire a été un véritable défi, mais ce fut et ça restera passionnant !

Aux fils de mes recherches, j'ai découvert cette science, la systématique, au carrefour de très nombreuses autres sciences toutes aussi passionnantes les unes que les autres : la biologie évolutive, l'épigénétique, la taxonomie, la paléontologie et j'en oublie.

C'était un peu comme si on tirait la ficelle d'une énorme pelote. Le problème, c'est qu'une fois que l'on a commencé à jouer avec ce bout de ficelle, on veut avoir toute la pelote.

Cette pelote apparait sans fin car plus les sciences avancent, plus on se pose des questions et plus la pelote grossit.

C'est ainsi que ce mémoire n'est qu'un instantané du moment.

De nombreuses découvertes restent à faire. Les scientifiques estiment que l'on ne connaît que 20% des espèces vivantes sur Terre : 2 millions d'espèces sont décrites mais 8 millions au moins sont toujours inconnues. Si on ajoute les espèces éteintes (fossiles), le pourcentage des espèces connues s'effondre.

Chaque jour de nouvelles espèces, vivantes ou éteintes, sont décrites par les scientifiques et nous ne sommes pas à l'abri d'un organisme (bactérie, archée, virus, végétal, animal, champignon) qui remettra en cause nos connaissances du moment.

Connaitre et comprendre le monde du vivant représente aujourd'hui des enjeux considérables. Il est devenu évident que nous sommes tous interdépendants des uns et des autres, qu'il s'agisse d'un virus animal qui engendre une maladie humaine ou bien du déséquilibre des écosystèmes du fait du réchauffement climatique et de l'érosion de la biodiversité.

De fait, nous avons besoin de nommer, décrire, comparer et classer les espèces. Se tromper d'espèces peut s'avérer fatal. Karl Von Linné ne s'était pas fait uniquement plaisir lorsqu'il classa méthodiquement les plantes pour éviter toute confusion.

Cette prise de conscience est relativement récente. Jusqu'aux années 1990, les sciences « explicatives » ont largement supplanté les sciences « descriptives ». On avait davantage besoin de biologistes pour comprendre les lois de l'hérédité plutôt que de systématiciens pour enrichir la classification. En octobre 2000, le rapport n°11 de l'Académie des sciences sur la science et la technologie, réalisé par Simon Tillier, directeur de l'Institut de systématique MNHN, mentionnait que près de 50% des systématiciens français avaient plus de 50 ans et que 80% d'entre eux étaient concentrés au MNHN.

Aujourd'hui, au regard des enjeux, il y a un regain d'intérêt pour la systématique et les scientifiques disposent de très nombreux outils (sciences et techniques) pour étudier la biodiversité.

Nous sommes peut être aux prémices d'une nouvelle histoire de la systématique.

6. BIBLIOGRAPHIE :

Ce mémoire n’aurait pu être écrit sans l’incontournable livre :

- *La classification phylogénétique du vivant* par Guillaume LECOINTRE et Hervé LE GUYADER, 4^{ème} édition Tomes 1 et 2, aux éditions BELIN.

A cela s’ajoute, côté livres :

- *Comprendre et enseigner la classification du vivant* sous la direction de Guillaume LECOINTRE aux éditions BELIN
- *Tous entrelacés ! Des gènes aux super-organismes : les réseaux de l’évolution* par Eric BAPTESTE aux éditions BELIN
- *The invertebrate tree of life* par Gonzalo GIRIBET et Gregory D. EDGEcombe aux éditions PRINCETON UNIVERSITY PRESS (en anglais)

Il y eut également de très nombreuses recherches internet à partir de mots clés ou bien à partir de newsletters des sites principaux suivants :

Sites en français :

- <https://theconversation.com/fr/environnement>
- <https://theconversation.com/fr/technologie>
- <https://www.pourlascience.fr/terre/>
- <https://www.pourlascience.fr/vivant/>
- <https://www.futura-sciences.com/>
- <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index> : INPN - Inventaire National du Patrimoine Naturel
- <https://doris.ffessm.fr/> : DORIS – Fiches espèces

Sites en anglais :

- <https://www.sciencedirect.com/journal/current-biology>
- <https://www.marinespecies.org/> : WoRMS - World Register of Marine Species

7. REMERCIEMENTS

Il est toujours difficile de dire comment on en est arrivé là et surtout grâce à qui.

J'ai toutefois une pensée particulière pour Pierre-Jean PICARD, mon « compagnon bio » des tous débuts,

Pour Jean-Philippe BORGES et Gilles SUC qui ont déclenché l'étincelle bio (bio et photo sont en symbiose !),

Pour Laurence GAUTIER, Sylvie GRALL, Pierre-Henri MILHEM qui m'ont appris à voir, comprendre, aimer et respecter ce milieu si fascinant,

Pour Annie LAFOURCADE, Pascal ZANI et Laurence, qui m'ont appris comment faire voir, faire comprendre, faire aimer et faire respecter.

Issu d'un univers pavé d'acier, de forge, de soudure et d'usinage, ce n'était pas gagné d'avance. Acquérir un vocabulaire bio était pour moi, et est encore, comme apprendre une langue étrangère. Et puis une fois cette « langue » apprivoisée, c'est tout naturellement que j'en suis venu à vouloir la transmettre.

« Mais si ! C'est simple ! Même moi j'y arrive. Vous verrez, c'est passionnant ! ».

Et c'est ainsi que j'en suis arrivé là...Enfin presque, car je ne peux passer sous silence le soutien, le dévouement et la disponibilité sans failles de mon épouse, Joëlle, sans qui, somme toute, tout cela ne serait pas arrivé.

Comment remercier toutes ces personnes qui ont jalonné mon parcours, de leur soutien, de leur encouragement, de leur confiance, de leur amitié, de leur collaboration, de leur disponibilité, si ce n'est en leur dédiant ce mémoire.

Qu'elles en soient toutes ici remerciées du fond de mon cœur.
