

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma

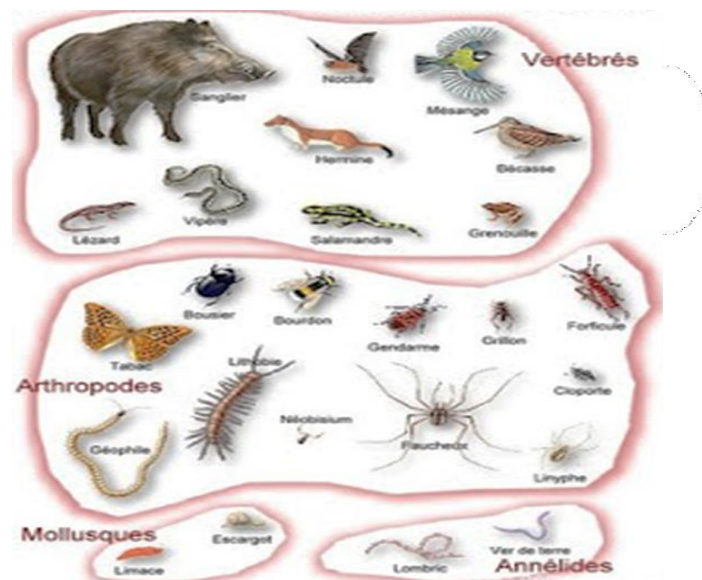


Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la terre et de
l'Univers Département des Sciences de la Nature et de la vie

ZOOLOGIE

2^{ème} année Licence en Sciences de la Nature et de la Vie

Dr Rabah ZEBBA



Zoologie

2^{ème} année Licence en

Sciences de la Nature et de la Vie

Dr Rabah ZEBSA

Sommaire

Préface

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale... 1

Chapitre 1 : Présentation du règne animal

1. Présentation du règne animal.....	3
1.1. Bases de la classification	4
1.2. Nomenclature zoologique	8
1.3. Evolution et phylogénie.....	12
1.4. Importance numérique du règne Animal	16

Chapitre 2 : Sous-règne des Protozoaires

2. Sous-règne des Protozoaires	18
2.1. Généralités sur les protozoaires.	18
2.2. Classification	26
2.2.1. Embranchement Sarcomastigophora	28
2.2.2. Embranchement Ciliophora	39
2.2.3. Embranchement Apicomplexa.....	42
2.2.4. Embranchement Cnidosporidies	45

Chapitre 3 : Sous-règne des Métazoaires

3. Sous-règne des Métazoaires.....	48
3.1. Embranchement Spongiaires	48
3.2. Embranchement Cnidaires.....	58
3.3. Embranchement Cténaires	68
3.4. Embranchement Plathelminthes	73
3.5. Embranchement Némathelminthes.	82
3.6. Embranchement Annélides.....	86

SOMMAIRE

3.7. Embranchement Mollusques	94
3 8. Embranchement Arthropodes	104
3 9. Embranchement Echinodermes	127
3 10. Embranchement Chordés	133
Les références bibliographiques	149

PREFACE

Le module de Zoologie ; un élément clé de la formation biologique ; est destiné aux étudiants de 2ème année de licence en Sciences de la Nature et de la Vie.

Cette matière permettra d'étudier les animaux sous tous leurs aspects, qu'il s'agisse de leur classification, de leur anatomie, de leur comportement, ou de leur évolution et d'acquérir des bases solides en matière d'identification morphologique et de biologie des principaux groupes d'animaux.

Egalement, les illustrations, essentielles à la compréhension du texte biologique, ont été réalisées de manière à simplifier tout en offrant une représentation précise des structures et des phénomènes.

En offrant une vision approfondie du monde animal, la zoologie contribue également à la conservation des espèces et à la protection de la biodiversité.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Illustration des quelques animaux.....	3
Figure 2 : Les principaux niveaux de la classification des animaux	4
Figure 3 : La symétrie des animaux.....	6
Figure 4 : Organisation diploblastique et triploblastique des cellules animales embryonnaires.....	6
Figure 5 : Vue schématique en coupe de : [a] acoelomates, [b] coelomates et [c] pseudocoelomates	7
Figure 6 : Le naturaliste Carl von Linné.	10
Figure 7 : Nombre mondiale d'espèces des classes de vertébrés par rapport au nombre d'espèces d'invertébrés.....	16
Figure 8 : La richesse spécifique mondiale des phyla les plus importants d'invertébrés.....	17
Figure 9 : Les protozoaires.	18
Figure 10 : Organisation cellulaire d'un protozoaire	20
Figure 11 : Structure fine d'un parasite protozoaire, <i>Typanosoma evansi</i> , révélée par microscopie électronique à transmission de coupes minces.....	22
Figure 12 : Organisation d'un flagellé.....	29
Figure 13 : Organisation d'un Kinétoplastide.....	30
Figure 14 : Organisation des métamonadines.....	31
Figure 15 : Organisation des diplomonadines.....	31
Figure 16 : Organisation des opalines	32
Figure 17 : Structure d'un rhizopode.....	33
Figure 18 : Structure d'une amibe avec pseudopodes lobés.....	34
Figure 19 : Classe des foraminifères.....	35
Figure 20 : Structure des Actinopodes.....	36

Figure 21 : Classe des acanthaires	37
Figure 22 : Classe des radiolaires	38
Figure 23 : Classe des Héliozoaires	39
Figure 24 : Organisation des ciliés	41
Figure 25 : Structure de la paramécie [ciliés]	42
Figure 26 : Morphologie générale des picomplexes.	43
Figure 27 : Classe des Myxosporidies	46
Figure 28 : Quelques spongiaires.....	49
Figure 29 : Organisation générale d'un spongiaire.....	50
Figure 30 : Structure de la paroi d'un spongiaire	51
Figure 31 : Les différentes formes de spongiaires	54
Figure 32 : Classe des calcarea [<i>Callispongia vaginalis</i>]	55
Figure 33 : Classe des hexactinellida [<i>Euplectella aspergillum</i>]	56
Figure 34 : Classe des Desmonpongiae : <i>Xetospongia testudinaria</i>	57
Figure 35 : Classe des homoscleromorpha : <i>Oscarella lobularis</i>	58
Figure 36 : Embranchement Cnidaire	59
Figure 37 : Morphologie de cnidaire	60
Figure 38 : Les formes de cnidaire	61
Figure 39 : Coupe de la paroi d'un Cnidaire	62
Figure 40 : Classe des hydrozoaires : <i>Hydra viridis</i>	64
Figure 41 : Classe des scyphozoaires : <i>Aurelia aurita</i>	65
Figure 42 : Classe des cubozoaires : <i>Carybdea marsupialis</i>	66
Figure 43 : Classe des anthozoaires : <i>Corallium rubrum</i>	67

LISTE DES FIGURES

Figure 44 : Classe des staurozoaires : <i>Haliclystus octoradiatus</i>	67
Figure 45 : Structure d'un cténaire (<i>Pleurobrachia sp</i>).....	68
Figure 46 : Classe des tentacula [<i>Pleurobrachia pileus</i>].....	72
Figure 47 : Classe des nuda [<i>Beroe ovata</i>].	73
Figure 48 : Embranchement des Plathelminthes.....	74
Figure 49 : Organisation d'un plathelminthe	75
Figure 50 : Les quatre ordres de la classe des Turbellariés.	76
Figure 51 : Classe des monogènes.....	77
Figure 52 : Classe des trématodes [<i>Schistosoma mansoni</i>], mâle et femelle à gauche, femelle seule au milieu, mâle à droite	80
Figure 53 : Classe des cestoides.	82
Figure 54 : Organisation générale d'un némathelminthe [mâle et femelle]	83
Figure 55 : Cycle évolutif de l'espèce <i>Ascaris lumbricoïde</i>	86
Figure 56 : Organisation générale d'un annélide.....	88
Figure 57 : Coupe d'un métamère d'un annélide	88
Figure 58 : Morphologie des polychètes.	90
Figure 59 : Morphologie des oligochètes	92
Figure 60 : Morphologie des achètes.....	94
Figure 61 : Embranchement des mollusques.	95
Figure 62 : Structure d'un mollusque	96
Figure 63 : Classe des caudofovéates	98
Figure 64 : Classe des solénogastres.....	98
Figure 65 : Classe des polyplacophores.....	99
Figure 66 : Classe des monoplacophores.	100
Figure 67 : Classe des gastéropodes	101

LISTE DES FIGURES

Figure 68 : Classe des céphalopodes.	102
Figure 69 : Classe des lamellibranches.	103
Figure 70 : Classe des scaphopodes.	104
Figure 71 : Organisation générale d'un arthropode	105
Figure 72 : Organisation interne d'un arthropode hexapode	106
Figure 73 : Appendice des arthropodes.	107
Figure 74 : Sous-embranchement des trilobitomorphes.	110
Figure 75 : Sous-embranchement des Chélicérates	111
Figure 76 : Classe des mérostomes.	112
Figure 77 : Morphologie de la classe des arachnides	114
Figure 78 : Classe des pycnogonides	115
Figure 79 : Sous embranchement des crustacés	116
Figure 80 : Classe des malacostracés.	118
Figure 81 : Classe des rémipèdes.	119
Figure 82 : Classe des céphalocarides.	119
Figure 83 : Classe des branchiopodes.	120
Figure 84 : Classe des maxillopodes.	121
Figure 85 : Phylum des myriapodes.	122
Figure 86 : Classe des diplopodes.	123
Figure 87 : Classe des chilopodes.	124
Figure 88 : Classe des pauropodes.	124
Figure 89 : Classe des symphiles.	125
Figure 90 : Classe des entognates.	126
Figure 91 : Classe des insectes.	126
Figure 92 : Sous embranchement des pelmatozoaires	129

LISTE DES FIGURES

Figure 93 : Classe des astérides	130
Figure 94 : Classe des échinides.	131
Figure 95 : Classe des holothurides.	132
Figure 96 : Classe des ophiurides.	133
Figure 97 : Organisation générale d'un chordé	134
Figure 98 : Organisation générale d'une ascidie	136
Figure 99 : Classe des appendiculaires	136
Figure 100 : Classe des thaliacés.	137
Figure 101 : Organisation générale des céphalochordés.....	138
Figure 102 : Organisation générale d'une myxine	139
Figure 103 : Organisation générale d'un pétromyzontide	140
Figure 104 : Classe des Chondrichthyens.....	142
Figure 105 : Classe des actinoptérygien.	143
Figure 106 : Classe des sarcoptérygiens.	144
Figure107 : Classe des amphibiens.....	145
Figure 108 : Classe des reptiles.	146
Figure 109 : Classe des oiseaux.....	147
Figure 110 : Classe des mammifères.	148

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification des protozoaires parasites et des maladies associées	26
---	----

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La zoologie est une discipline scientifique qui occupe une place centrale dans les sciences de la vie, en se consacrant à l'étude des animaux sous toutes leurs formes et dans tous leurs aspects. À la croisée de multiples domaines scientifiques, la zoologie explore la diversité animale à travers une approche qui combine anatomie, physiologie, écologie, éthologie, et biologie évolutive. Elle se penche sur la structure, le fonctionnement, le développement, le comportement, les relations écologiques et l'évolution des animaux, depuis les organismes unicellulaires les plus simples jusqu'aux mammifères les plus complexes.

L'un des principaux objectifs de la zoologie est de comprendre comment les différentes espèces animales interagissent avec leur environnement et entre elles. Cette compréhension est essentielle pour conserver la biodiversité, gérer les ressources naturelles, et préserver les écosystèmes. Les zoologistes s'intéressent à la classification des animaux (taxonomie), à leur morphologie (structure et forme), ainsi qu'à leur physiologie (fonctionnement des systèmes organiques). Ils examinent aussi les comportements animaux, cherchant à décrypter les mécanismes qui sous-tendent des actions aussi diverses que la chasse, la reproduction, la communication, ou la migration.

En étudiant les animaux, la zoologie ne se limite pas à une simple description des espèces, mais vise à comprendre les mécanismes sous-jacents qui permettent à la vie animale de s'adapter, de survivre et d'évoluer. Cette étude est cruciale pour élucider les processus d'évolution biologique, en identifiant les similitudes et les différences entre les espèces actuelles et leurs ancêtres fossiles. De ce fait, la zoologie contribue de manière significative à notre compréhension de l'histoire de la vie sur Terre, tout en fournissant des clés pour prédire et influencer le futur des espèces animales dans un contexte de changements environnementaux rapides.

La zoologie s'étend également à l'étude des relations symbiotiques, parasitaires, et prédatrices entre les animaux, ainsi qu'à l'analyse des écosystèmes dans lesquels ils vivent. Ces relations sont souvent complexes et interconnectées, reflétant l'importance des interactions biotiques dans la survie et l'évolution des espèces. Par exemple, l'étude des chaînes alimentaires et des réseaux trophiques permet de comprendre comment l'énergie circule à travers les écosystèmes, influençant ainsi la dynamique des populations et la structure des communautés animales.

Les avancées technologiques, notamment dans les domaines de la génétique, de la biotechnologie et de l'imagerie, ont considérablement élargi les horizons de la zoologie. Les zoologistes peuvent désormais explorer les génomes animaux, révéler les bases génétiques des comportements, et étudier les processus biologiques à une échelle moléculaire. Ces progrès permettent non seulement de mieux comprendre les animaux eux-mêmes, mais aussi de déployer des stratégies de conservation plus efficaces pour protéger les espèces menacées et restaurer les habitats dégradés.

Enfin, la zoologie est indissociable des préoccupations environnementales contemporaines. Face aux défis posés par le changement climatique, la perte de biodiversité et la dégradation des écosystèmes, les zoologistes jouent un rôle crucial dans l'élaboration de solutions durables. En combinant des connaissances approfondies sur les animaux et leur environnement avec des approches innovantes, la zoologie contribue à forger un avenir où la coexistence harmonieuse entre les humains et les autres formes de vie sur Terre est possible.

Ainsi, la zoologie n'est pas simplement l'étude des animaux, mais une science intégrative qui englobe des aspects aussi divers que la biologie moléculaire, l'écologie, l'évolution, et même l'éthique. Elle nous invite à approfondir notre compréhension du monde naturel, à reconnaître notre responsabilité envers les autres êtres vivants, et à célébrer la diversité incroyable qui compose le tissu de la vie sur notre planète.

La zoologie actuelle est une discipline en constante évolution, intégrant des avancées technologiques et des perspectives interdisciplinaires pour approfondir notre compréhension du monde animal. Aujourd'hui, les zoologistes ne se contentent plus d'étudier la morphologie ou la classification des espèces, mais explorent également les aspects génétiques, comportementaux et écologiques des animaux. Les méthodes modernes, telles que la génomique, l'imagerie avancée, et les technologies de suivi par satellite, permettent d'analyser les animaux à des niveaux de détail sans précédent. Parallèlement, la zoologie s'engage activement dans la conservation des espèces et la gestion des écosystèmes, jouant un rôle crucial dans la lutte contre la perte de biodiversité et les impacts du changement climatique. En combinant tradition et innovation, la zoologie actuelle s'efforce de répondre aux défis environnementaux du XXI^e siècle tout en approfondissant notre compréhension de la vie animale.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU REGNE ANIMAL

1. Présentation du règne animal

Le règne animal, connu sous le nom scientifique d'*Animalia*, constitue un vaste groupe dans la classification des êtres vivants, abritant une incroyable diversité d'espèces. Ces organismes se distinguent par leur capacité à se déplacer volontairement, à réagir aux stimuli de leur environnement et à se nourrir d'autres êtres vivants, ce qui les différencie des plantes et des champignons. Les animaux peuvent être aussi bien unicellulaires que multicellulaires et varient considérablement en taille, allant des protozoaires microscopiques aux immenses baleines.

La reproduction chez les animaux est majoritairement sexuée, bien que certaines espèces puissent également se reproduire de manière asexuée. Le règne animal est divisé en plusieurs phylums, comme les Arthropodes, les Chordés et les Mollusques, chacun possédant des caractéristiques spécifiques qui enrichissent et diversifient la vie sur Terre.

En effet, tous ces animaux aux structures et formes variées, avec plus d'un million d'espèces décrites jusqu'à présent, nécessitent une classification qui devient d'autant plus importante. La classification aide également à attribuer une position systématique aux espèces nouvellement décrites [Figure 1].

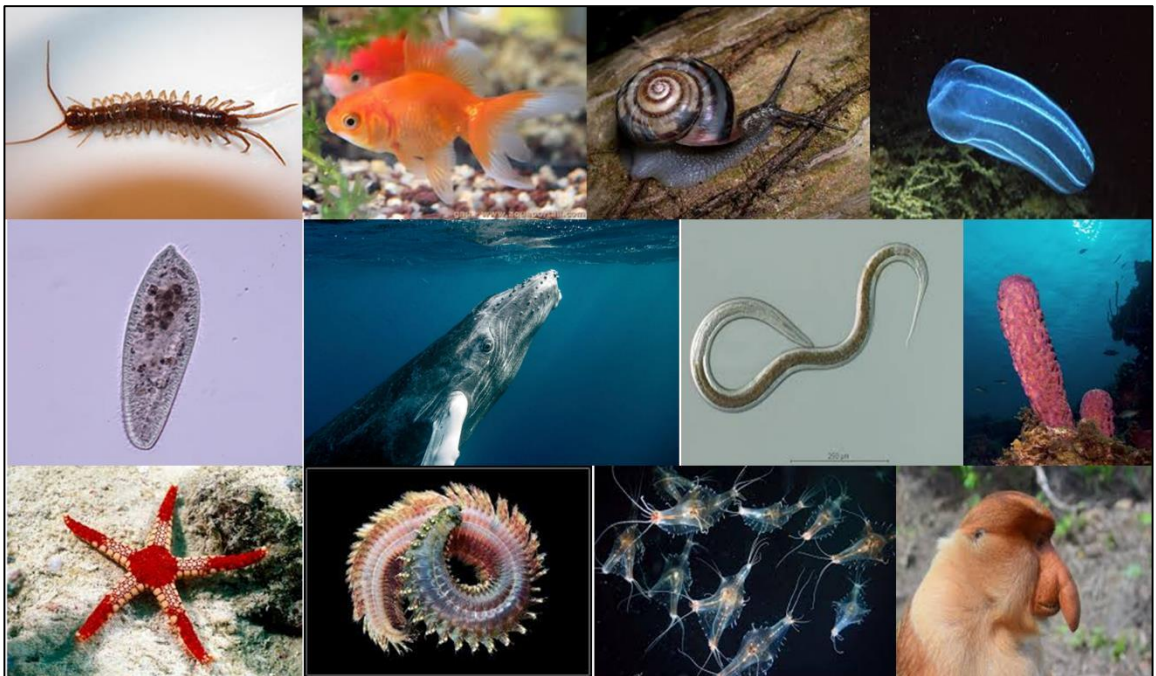


Figure 1 : Illustration des quelques animaux.

1.1. Bases de la classification

Malgré les différences de structure et de forme des différents animaux, il existe des caractéristiques fondamentales communes à divers individus en ce qui concerne la disposition des cellules, la symétrie du corps, la nature du coelome, les schémas des systèmes digestif, circulatoire ou reproducteur. Ces caractéristiques servent de base à la classification des animaux.

La classification des animaux, également connue sous le nom de taxonomie animale, est un système scientifique permettant d'organiser et de catégoriser les différentes espèces en fonction de leurs caractéristiques communes. Ce processus est essentiel pour mieux comprendre la diversité de la vie animale et les relations évolutives entre les espèces. Les animaux sont regroupés en différents niveaux hiérarchiques, allant du règne jusqu'à l'espèce. Les principaux niveaux incluent le phylum, la classe, l'ordre, la famille, le genre, et l'espèce. Cette classification systématique permet non seulement de nommer et de décrire les espèces, mais aussi de comprendre leurs relations et leur évolution dans l'arbre de la vie [Figure 2].

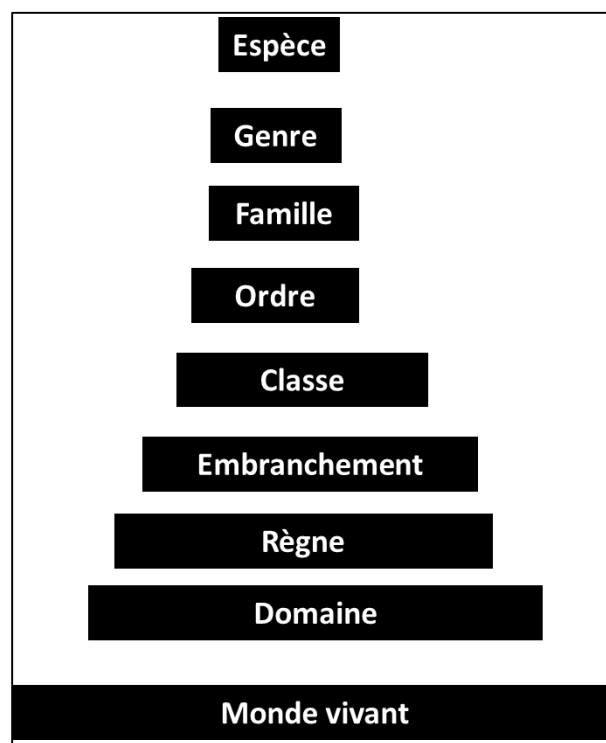


Figure 2 : Les principaux niveaux de la classification des animaux.

1.1.1. Niveaux d'organisation

Bien que tous les membres d'Animalia soient multicellulaires, ils ne présentent pas tous le même modèle d'organisation cellulaire. Par exemple, chez certains animaux, les cellules sont disposées sous forme d'agrégats cellulaires lâches, c'est-à-dire qu'elles présentent un niveau d'organisation cellulaire. Une certaine division du travail (activités) se produit entre les cellules. Chez d'autres, la disposition des cellules est plus complexe où les cellules remplissent la même fonction en disposant en tissus, d'où ce qu'on appelle le niveau d'organisation tissulaire. Un niveau d'organisation encore plus élevé, c'est-à-dire le niveau des organes, où les tissus sont regroupés pour former des organes, chacun spécialisé pour une fonction particulière. Également, les organes se sont associés pour former des systèmes fonctionnels, chaque système étant concerné par une fonction physiologique spécifique. Ce modèle est appelé niveau d'organisation du système organique. Les systèmes organiques de différents groupes d'animaux présentent divers modèles de complexité. Par exemple, le système digestif des Platyhelminthes n'a qu'une seule ouverture vers l'extérieur du corps qui sert à la fois de bouche et d'anus, et est donc appelé incomplet. Un système digestif complet comporte deux ouvertures, la bouche et l'anus. De même, le système circulatoire peut être de deux types : un type ouvert dans lequel le sang est pompé hors du cœur et les cellules et tissus y baignent directement et un type fermé dans lequel le sang circule à travers une série de vaisseaux de diamètres variables (artères, veines et capillaires).

1.1.2. Symétrie

Les animaux peuvent être classés en fonction de leur symétrie. Un groupe sont asymétriques, c'est-à-dire que tout plan passant par le centre ne les divise pas en moitiés égales. Lorsqu'un plan passant par l'axe central du corps divise l'organisme en deux moitiés identiques ou en plusieurs parties égales autour d'un axe central, on parle de symétrie radiale. Les animaux, dont le corps peut être divisé en moitiés gauche et droite identiques dans un seul plan, présentent une symétrie bilatérale [Figure 3].

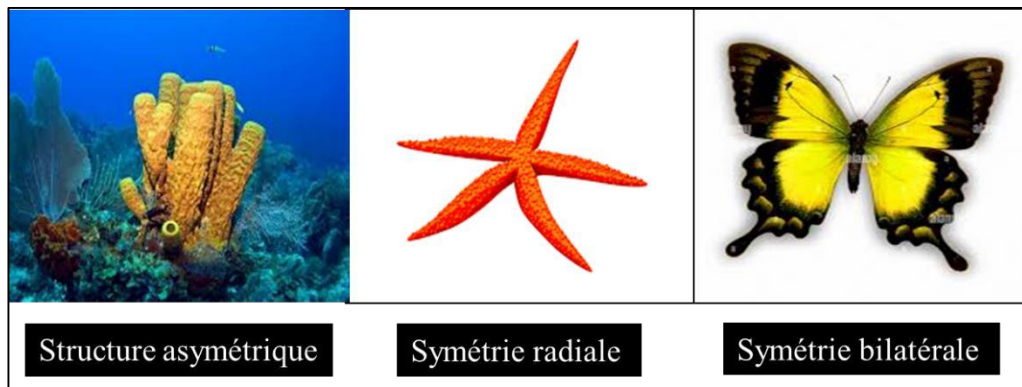


Figure 3 : La symétrie des animaux

1.1.3. Organisation diploblastique et triploblastique

Les animaux dont les cellules sont disposées en deux couches embryonnaires, un ectoderme externe et un endoderme interne, sont appelés animaux *diploblastiques*. Une couche indifférenciée, la mésoglée, est présente entre l'ectoderme et l'endoderme.

Les animaux chez lesquels l'embryon en développement possède une troisième couche germinale, le mésoderme, entre l'ectoderme et l'endoderme, sont appelés animaux *triploblastiques* [Figure 4].

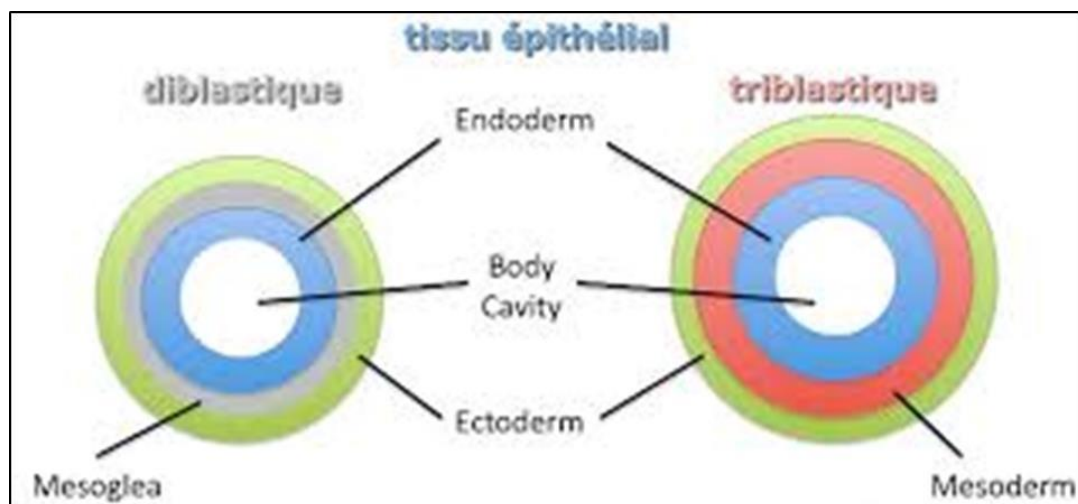


Figure 4 : Organisation diploblastique et triploblastique des cellules animales embryonnaires.

1.1.4. Cœlome

Les acoelomates [Fig. 5a] sont des animaux dépourvus de cavité corporelle entre la paroi corporelle et la paroi intestinale. Cette absence de cavité corporelle constitue une caractéristique essentielle pour leur classification. En revanche, les eucoelomates [Fig. 5b] possèdent une cavité corporelle, appelée cœlome, entièrement tapissée par le mésoderme, leur conférant une organisation interne plus complexe. Enfin, chez les pseudocoelomates [Fig. 5c], la cavité corporelle, nommée pseudocœlome, n'est pas entièrement tapissée par le mésoderme, celui-ci étant présent sous forme de poches dispersées entre l'ectoderme et l'endoderme. Cette distinction basée sur la présence ou l'absence de cœlome joue un rôle clé dans la classification des animaux.

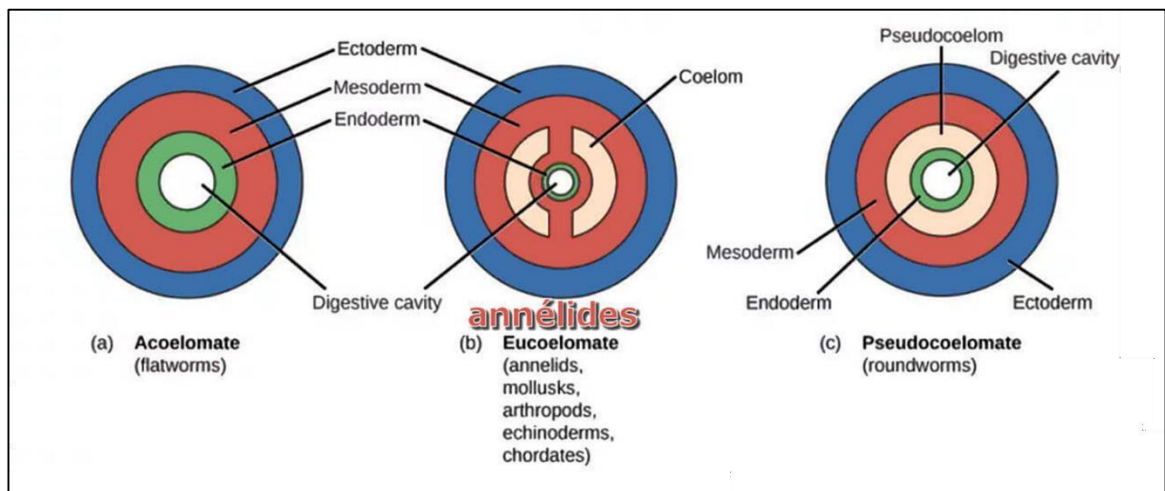


Figure 5 : Vue schématique en coupe de : [a] acoelomates, [b] coelomates et [c] pseudocoelomates.

1.1.5. Segmentation

Chez certains animaux, le corps est divisé extérieurement et intérieurement en segments avec une répétition en série d'au moins certains organes.

Le métamérisme est une caractéristique structurale présente chez de nombreux organismes, notamment certains invertébrés comme les annélides et les arthropodes, ainsi que chez certains vertébrés. Il consiste en une répétition en série de segments corporels, appelés métamères, le long de l'axe longitudinal du corps. Chaque segment peut renfermer des structures similaires, telles que des muscles, des organes et des appendices, offrant ainsi à l'animal une modularité et une flexibilité dans ses mouvements et ses fonctions.

Par exemple, chez le ver de terre, le corps présente ce schéma appelé segmentation

métamérique et le phénomène est connu sous le nom de métamérisme. Ce dernier est particulièrement visible chez les vers de terre, où chaque segment comporte une série de soies,

des muscles circulaires et longitudinaux, ainsi que des néphridies pour l'excrétion. Chez les arthropodes, tels que les insectes, le métamérisme peut être modifié pour former des segments spécialisés, comme ceux de la tête, du thorax et de l'abdomen. Cette organisation segmentaire permet une évolution adaptative, car les segments peuvent être modifiés indépendamment pour répondre à différents besoins fonctionnels, contribuant ainsi à la diversité des formes et des modes de vie observés dans le règne animal.

1.1.6. Notochorde

La notochorde est une structure en forme de bâtonnet dérivée du mésoderme et formée sur la face dorsale au cours du développement embryonnaire chez certains animaux, qui fournit un support structural et une certaine rigidité tout en permettant une flexibilité.. Les animaux dotés d'une notochorde sont appelés chordés et ceux qui ne forment pas cette structure sont appelés non-chordés.

Chez de nombreux animaux, comme les poissons et les amphibiens, la notochorde persiste à l'âge adulte et joue un rôle crucial dans le soutien du corps et la locomotion. Cependant, chez les vertébrés supérieurs, tels que les mammifères, elle est généralement remplacée par la colonne vertébrale osseuse ou cartilagineuse à mesure que l'organisme se développe. La notochorde est également essentielle pour l'organisation et la différenciation des tissus environnants lors du développement embryonnaire, influençant la formation du système nerveux central et d'autres structures. Sa présence est une caractéristique clé qui distingue les Chordés des autres animaux, marquant un pas important dans l'évolution de la complexité corporelle.

1.2. Nomenclature zoologique

Dès ses premières œuvres, comme le *Fundamenta Botanica* de 1736, Linné a établi les « règles arbitraires » de nomenclature qu'il suivait, notamment en matière d'orthographe et de gestion des synonymes et homonymes. À la fin du XVIIIe et au début du XIXe siècle, d'autres botanistes ont critiqué les règles de Linné, tels que Heister, ou proposé leurs propres règles, comme Augustin de Candolle et Lindley. Cependant, pendant cette période, les règles étaient souvent implicites et rarement appliquées strictement. Entre les années 1840 et 1870, les premières règles formelles de nomenclature ont été établies, tant en zoologie qu'en botanique, avec des codes comme celui de Strickland en 1843 ou celui de de Candolle en 1867. Dans les

années 1880-1890, un regain d'intérêt pour les règles de nomenclature a conduit à l'émergence de nombreux nouveaux codes, et certaines idées novatrices ont été exprimées. Entre 1905 et 1907, les premiers Codes internationaux de nomenclature ont été publiés pour la botanique et la zoologie. En botanique, deux courants distincts ont émergé à partir de 1907 avec la publication du « Brittonian Code ». Ce n'est qu'en 1930 que cette division, entre le Code américain et le Code international, a été résolue, aboutissant à un code similaire à celui utilisé aujourd'hui, tandis qu'en zoologie, aucun nouveau code n'a été publié pendant plus de 40 ans. Au cours du XXe siècle, de nouveaux développements ont eu lieu, notamment la création de règles spécifiques pour les plantes cultivées dans les années 1950, dont les prémisses remontaient à 1847, ainsi que la scission des bactériologistes et des virologistes dans les années 1970-80. Enfin, dans les années 1990-2000, plusieurs initiatives, comme le Reformed Code (1990), le New Biological Nomenclature (1991), le Biocode (1997) et le Phylocode (2000), ont vu le jour, certaines subsistant encore aujourd'hui.

1.2.1. Définition

La nomenclature zoologique est le système des noms scientifiques appliqués aux unités taxinomiques (ou taxons) des animaux actuels ou éteints, permettant de classer et d'identifier chaque espèce de manière unique et standardisée. Elle est régie par des règles et des recommandations établies par le Code international de nomenclature zoologique (ICZN), qui vise à assurer la stabilité et la mondialité des noms scientifiques. Chaque nom d'espèce est binominal, composé de deux parties : le nom de genre, qui est toujours capitalisé, et le nom spécifique, qui ne l'est pas. Ainsi, l'espèce actuelle de l'humanité (Homme moderne) s'appelle *Homo sapiens*.

Les noms sont généralement en latin ou en grec, reflétant une tradition scientifique qui remonte aux travaux de Carl von Linné, le père de la taxonomie moderne. La nomenclature zoologique permet aux scientifiques du monde entier de communiquer précisément et de manière cohérente sur les espèces, évitant ainsi les ambiguïtés et les confusions causées par les noms communs, qui peuvent varier selon les langues et les régions [Figure 6].



Figure 6 : Le naturaliste Carl von Linné.

1.2.2. Le champ d'application

Le champ d'application de la nomenclature zoologique couvre l'ensemble des organismes animaux, de la description initiale d'une espèce à la révision de noms déjà existants. Il englobe les principes et les règles pour nommer de manière systématique et universelle les différentes espèces, genres, familles et autres taxons zoologiques. La nomenclature zoologique s'applique non seulement à la découverte de nouvelles espèces, mais aussi à la classification et à la reclassification des espèces existantes à la lumière de nouvelles données scientifiques, telles que des découvertes génétiques ou morphologiques.

Ce système est essentiel pour maintenir la cohérence et la clarté dans la communication scientifique, en évitant les ambiguïtés et les doublons de noms. Il couvre également les règles pour la publication des noms, la désignation des types nomenclatureaux, et les priorités en cas de conflits de noms. La nomenclature zoologique est donc un fondement crucial pour la taxonomie, l'écologie, la conservation, et toutes les disciplines qui nécessitent une identification précise et fiable des organismes animaux.

1.2.3. Les règles de la nomenclature zoologique

Un nom scientifique sert d'identificateur unique pour un taxon, évitant ainsi la confusion d'une "Tour de Babel" où différents auteurs utiliseraient des noms variés pour la même unité taxonomique, ce qui nuirait à la communication scientifique. Malgré des règles strictes pour la nomenclature, des problèmes persistent, tels que l'attribution de multiples noms à un même taxon (synonymes) ou l'utilisation du même nom pour plusieurs taxons (homonymes). Les règles mondiales pour l'attribution des noms sont régies par des codes de nomenclature, le principal étant le Code international de nomenclature zoologique, dont la quatrième édition, publiée en 1999, est actuellement en vigueur. Outre un nom scientifique, les espèces peuvent aussi avoir un ou plusieurs noms vernaculaires. Ceux-ci ne sont pas uniques et ne sont pas compris universellement. Ils sont donc employés à des fins générales et non scientifiques.

- Le Code précise que les noms scientifiques doivent utiliser les 26 lettres de l'alphabet latin standard et exclut l'usage des chiffres, des signes diacritiques, ainsi que d'autres caractères tels que les apostrophes ou les traits d'union. Si ces caractères étaient présents dans l'orthographe originale, les taxonomistes contemporains les corrigent dans leurs publications conformément aux règles du Code. Cependant, ces modifications n'affectent pas la validité nomenclaturale du nom.
- Le nombre de mots composant un nom scientifique varie selon le rang taxonomique, c'est-à-dire le niveau du taxon dans la hiérarchie taxonomique (comme l'espèce, le genre ou la famille). Pour les taxons situés au-dessus du niveau de l'espèce, le nom scientifique est composé d'un seul mot (uninomen) qui commence toujours par une majuscule. Les noms des groupes de familles sont dérivés du radical du genre, auquel on ajoute un suffixe : – **oidea** pour une superfamille, **-idae** pour une famille, **-inae** pour une sous-famille, **-ini** pour une tribu, et **–ina** pour une sous-tribu. Les rangs supérieurs et inférieurs n'ont pas de suffixes réglementés. Pour déterminer le radical d'un nom générique, il est nécessaire de retirer la terminaison latine du génitif singulier du genre.
- Le nom scientifique d'une espèce est un binôme composé de deux éléments : le nom générique (genre) et le nom spécifique. Le nom générique commence toujours par une majuscule, tandis que le nom spécifique commence par une minuscule, quelle que soit l'orthographe originale ou l'origine du nom, qu'il soit tiré d'un nom de personne ou de localité.

- Lorsque le nom scientifique d'un sous-genre est utilisé, il est placé entre parenthèses entre le nom générique et le nom spécifique, et il commence également par une majuscule, comme le nom générique. L'insertion d'un nom infragénérique ne transforme pas le nom en trinôme. Pour les rangs infraspécifiques, les noms deviennent trinominaux (composés de trois mots) et les noms de sous-espèces commencent par une minuscule, tout comme les noms d'espèces. Le Code ne reconnaît pas les noms inférieurs au niveau infraspécifique, sauf que les "variétés" créées avant 1961 sont automatiquement considérées comme des noms infraspécifiques.
- Le nom de l'auteur qui a décrit un taxon est placé directement après le nom scientifique, sans signe de ponctuation intermédiaire. Cependant, lorsque le nom d'une espèce est combiné avec un nom générique différent de celui qui lui avait été attribué à l'origine, le nom de l'auteur est alors placé entre parenthèses. L'année de publication du nom peut également être ajoutée après le nom de l'auteur, séparée par une virgule et placée entre parenthèses lorsque le nom de l'auteur est ainsi indiqué. Bien que l'auteur et l'année ne fassent pas partie du nom de taxon lui-même, il est recommandé de les citer au moins une fois dans un article, car cela aide à identifier les homonymes et facilite l'accès à d'autres documents scientifiques pertinents. Dans certains cas, il peut être difficile d'obtenir la date exacte de publication. Cela peut se produire lorsque la date réelle de publication ne correspond pas à la date imprimée sur l'ouvrage, ou lorsque l'ouvrage a été publié en plusieurs parties distinctes sur une certaine période.
- Les noms génériques, infragénériques, spécifiques et infraspécifiques doivent être écrits en *italiques* ou soulignés dans le texte. Le nom de l'auteur et la date de publication sont écrits en caractères normaux.

1.3. Evolution et phylogénie

La classification du règne animal est un système essentiel en biologie, conçu pour organiser et comprendre l'immense diversité des espèces animales sur Terre. Cette classification s'appuie sur des critères scientifiques tels que la structure corporelle, les caractéristiques génétiques et les comportements, ce qui permet de regrouper les animaux en différentes

catégories hiérarchiques. Partant des distinctions les plus générales, comme celles entre les invertébrés et les vertébrés, ce système descend jusqu'aux niveaux les plus spécifiques, tels que les genres et les espèces. En identifiant et nommant les espèces, la classification du règne animal permet de tracer les relations évolutives, de découvrir de nouvelles espèces, et de protéger la biodiversité. Ce système hiérarchique est crucial pour les biologistes et les chercheurs, car il facilite la communication et l'étude des animaux dans un cadre scientifique structuré.

La classification classique et phylogénique du règne animal sont deux approches complémentaires pour organiser et comprendre la diversité des espèces animales. La classification classique, également connue sous le nom de classification linnéenne, se base principalement sur les caractéristiques morphologiques et anatomiques observables, telles que la structure corporelle et les organes. Cette méthode organise les animaux en groupes hiérarchiques, allant des grands taxons comme les phylums jusqu'aux genres et espèces, en se concentrant sur les similitudes et différences physiques.

En revanche, la classification phylogénétique, ou cladistique, se concentre sur les relations évolutives entre les espèces. Elle utilise des données génétiques et des analyses de traits hérités pour établir des arbres phylogénétiques, qui montrent les liens de parenté entre différentes espèces en fonction de leur descendance commune. Cette approche met en évidence les relations évolutives et aide à comprendre comment les différentes espèces ont évolué à partir d'ancêtres communs. En combinant ces deux approches, les scientifiques peuvent mieux comprendre la diversité et l'évolution du règne animal, en intégrant à la fois les aspects morphologiques et génétiques.

1.3.1. La classification traditionnelle

La classification classique du règne animal, aussi appelée classification linnéenne, est un système qui regroupe les animaux selon leurs caractéristiques morphologiques et anatomiques observables. Cette classification traditionnelle repose sur une hiérarchie fixe de catégories (les rangs de taxon), définie de la façon suivante :

(vivant) → règne → embranchement → classe → ordre → famille → genre → espèce.

Ce système, élaboré par Carl von Linné au XVIII^e siècle, utilise une hiérarchie de catégories pour classer les espèces en groupes de plus en plus spécifiques. À chaque niveau de cette hiérarchie, les organismes sont organisés selon des traits communs. Cette classification

repose principalement sur des caractéristiques visibles, comme la présence ou l'absence de colonne vertébrale, la structure des membres, ou les types de systèmes reproductifs. Bien que cette méthode soit utile pour organiser les animaux et comprendre leurs relations de manière pratique, elle ne prend pas toujours en compte les relations évolutives profondes et peut parfois regrouper des espèces sur la base de similarités superficielles plutôt que de véritables liens génétiques.

- **Point faible de la classification traditionnelle**

Les classifications traditionnelles n'avaient pas toujours pour but de retracer les relations de parenté et l'évolution des espèces. Il existait des systèmes de classification scientifique dans un contexte pré-évolutionniste. Selon ces classifications, on pourrait être amené à penser qu'un poisson est toujours plus proche d'un autre poisson que d'une espèce non poisson. Cependant, cela n'est pas toujours vrai.

Les études évolutives ont montré que certains traits ont évolué pour se transformer. Par exemple, les nageoires des poissons se sont transformées en membres marcheurs chez les tétrapodes, comme les humains. La classification classique, en utilisant des caractères comme les "nageoires", exclut les humains du groupe présentant ces traits, bien que ce caractère soit présent sous une forme évoluée. De même, l'utilisation de caractères ancestraux comme la présence d'écailles (qui ont disparu chez certaines espèces) ou la forme hydrodynamique du corps peut induire en erreur quant aux degrés de parenté entre les espèces. En se basant sur les caractéristiques les plus visibles, la classification classique ne permet pas toujours d'estimer correctement les relations de parenté entre les espèces.

Néanmoins, elle reste utile pour identifier les espèces à l'aide de clés de détermination ou pour gérer des collections biologiques.

1.3.2. La classification phylogénétique

- **Historique**

Cette classification repose principalement sur l'analyse cladistique, une méthode de reconstruction phylogénétique formalisée en 1950 par Willi Hennig, et publiée en Allemagne. La traduction anglaise de son ouvrage en 1966, suivie de la version espagnole en 1968, a permis à Hennig de toucher un public plus large. Cette méthode a révolutionné l'ensemble de la systématique à partir de la fin des années 1960. En 1974, la classification cladistique a été au

centre d'un débat entre Ernst Mayr (1904-2005) et Willi Hennig (1913-1976), marquant les relations entre phylogénéticiens évolutionnistes et cladistes.

La cladistique a été popularisée en français en 1980, ce qui a conduit à la diffusion des principes de la classification cladistique au-delà des cercles académiques. L'analyse cladistique, qui est la base de cette classification, évalue les caractères à toutes les échelles avec la même importance : caractères macroscopiques et microscopiques issus de l'anatomie comparée et de l'embryologie, caractères moléculaires provenant de la biochimie et de la biologie moléculaire, ainsi que données paléontologiques.

Le cladisme désigne une école de pensée et a donc une portée plus large que l'analyse cladistique (ou méthodes cladistiques), celle-ci étant également utilisée par des systématiciens d'autres écoles de taxonomie, comme l'évolutionnisme.

▪ Définition

Cette classification appelée aussi cladistique, est un système de classification des êtres vivants basé sur leur phylogénie. Elle a émergé des travaux de l'école de taxonomie appelée systématique phylogénétique ou cladistique. Cette méthode vise à représenter les relations de parenté entre les taxons, en se concentrant sur les relations de groupe frère plutôt que sur les liens généalogiques directs entre ancêtres et descendants, et ce, indépendamment de leur rang taxonomique. La classification cladistique ne reconnaît que les groupes monophylétiques, c'est-à-dire les groupes qui incluent tous les descendants de leur dernier ancêtre commun, comme les mammifères et les oiseaux. Elle ne reconnaît pas les groupes paraphylétiques, tels que les reptiles ou les poissons, qui n'incluent pas tous les descendants de leur dernier ancêtre commun. Contrairement à la systématique évolutionniste, le cladisme est aujourd'hui la pensée dominante (bien que non consensuelle) dans le domaine académique. La classification phylogénétique a largement remplacé les classifications traditionnelles dans la plupart des milieux scientifiques et universitaires.

▪ Différences avec la classification traditionnelle

La classification phylogénétique se distingue de la classification traditionnelle principalement par son approche et ses critères de regroupement des organismes. Alors que la classification traditionnelle se base sur des caractéristiques morphologiques et anatomiques visibles, telles que la forme et la structure des corps, la classification phylogénétique s'appuie sur les relations évolutives et les liens de parenté entre les espèces.

Ce système, également connu sous le nom de cladistique, se concentre sur l'identification de groupes monophylétiques, c'est-à-dire des groupes comprenant tous les descendants d'un ancêtre commun. Contrairement à la classification traditionnelle, qui peut inclure des groupes paraphylétiques (qui excluent certains descendants de leur ancêtre commun), la classification phylogénétique ne retient que les liens de parenté démontrés par des caractères dérivés partagés, qu'ils soient morphologiques, génétiques ou biochimiques. Cette approche permet une représentation plus précise des relations évolutives entre les espèces, en excluant les regroupements basés sur des similitudes superficielles non héritées d'un ancêtre commun. Ainsi, la classification phylogénétique offre une perspective plus fidèle de l'histoire évolutive et des connexions génétiques entre les organismes.

1.4. Importance numérique du règne Animal

Le règne animal est remarquable par son immense diversité numérique. Cette diversité s'étend à travers une vaste gamme de tailles, de formes et de modes de vie, des minuscules insectes et microorganismes aux gigantesques mammifères marins comme les baleines. La majorité des espèces connues appartient aux invertébrés, notamment les arthropodes, qui représentent le groupe le plus vaste et le plus diversifié [Figure 7].

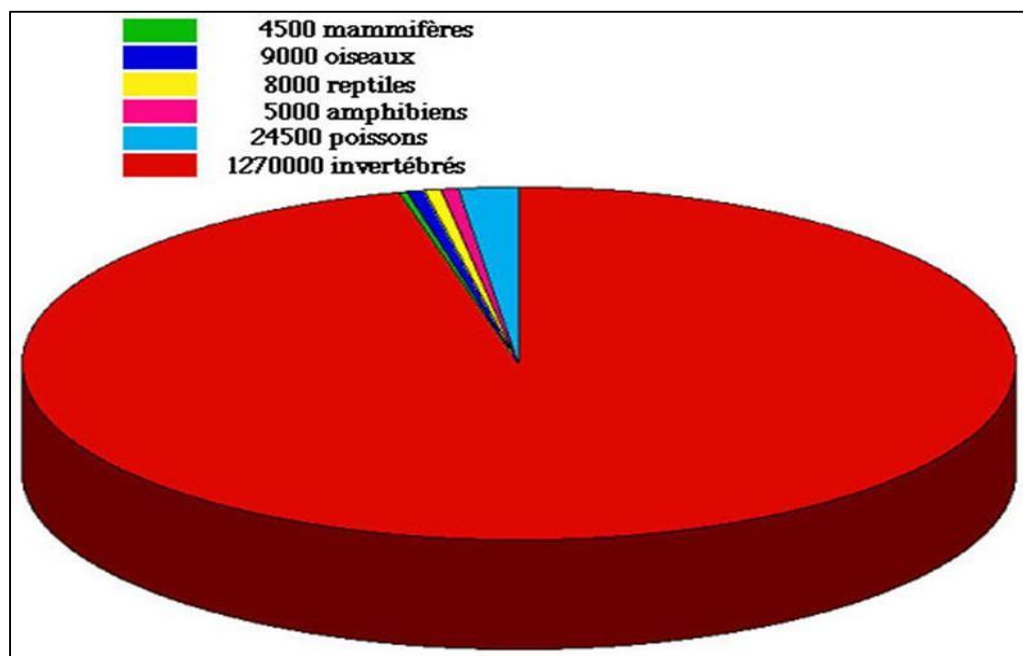


Figure 7 : Nombre mondiale d'espèces des classes de vertébrés par rapport au nombre d'espèces d'invertébrés.

L'importance numérique du règne animal reflète non seulement la capacité des animaux à s'adapter à presque tous les habitats de la planète, mais aussi leur rôle crucial dans les écosystèmes, où ils participent à des processus écologiques vitaux tels que la pollinisation, la décomposition, et la régulation des populations. Cette incroyable biodiversité est essentielle pour le maintien de la santé des écosystèmes et des services qu'ils fournissent, tout en étant un sujet de recherche scientifique majeur pour comprendre les mécanismes de l'évolution et de l'adaptation. Les arthropodes représentent le groupe avec le plus grand nombre d'espèces, suivis par les mollusques, les nématodes, etc. [Figure 8].

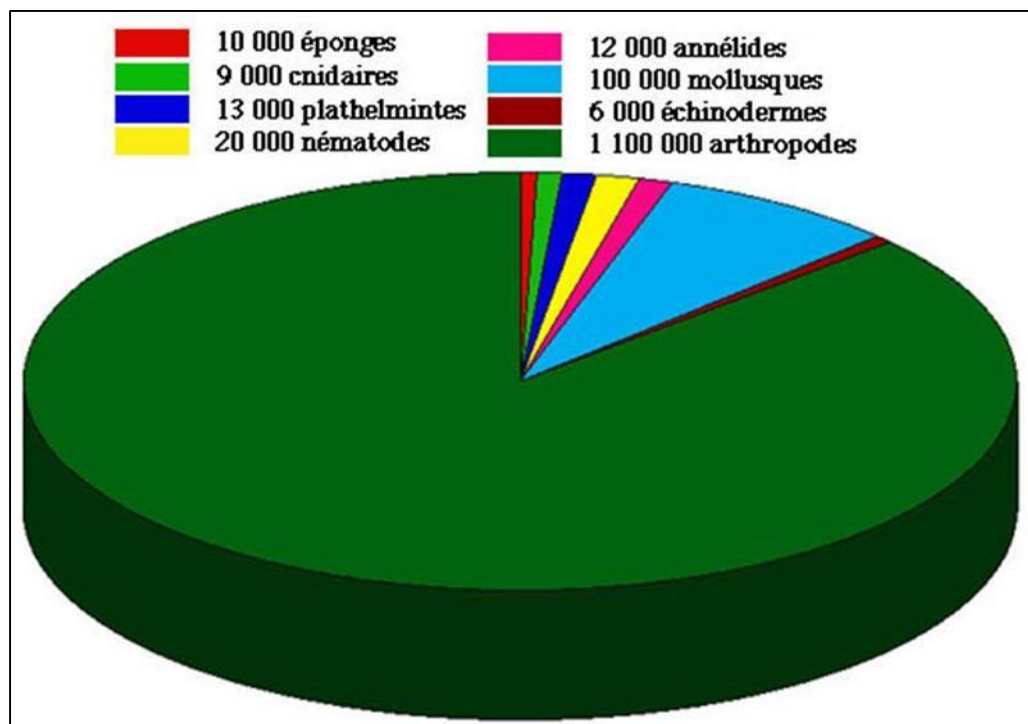


Figure 8 : La richesse spécifique mondiale des phyla les plus importants d'invertébrés.

CHAPITRE 2 : SOUS-REGNE DES PROTOZOAIRE

2. Sous-règne des Protozoaires

2.1. Généralités sur les protozoaires

Le terme protozoaire (Protozoa) provient du grec prôtos (premier) et zôon (animal). Il désigne des protistes, des eucaryotes généralement unicellulaires et dépourvus de tissus spécialisés. Ils sont hétérotrophes, mobiles et se nourrissent par phagocytose, contrairement à d'autres types de protistes.

Ces animaux sont de petits organismes, certains atteignant presque un millimètre de longueur. Ils peuvent exister en tant que cellules solitaires ou former des colonies cellulaires [Figure 9].

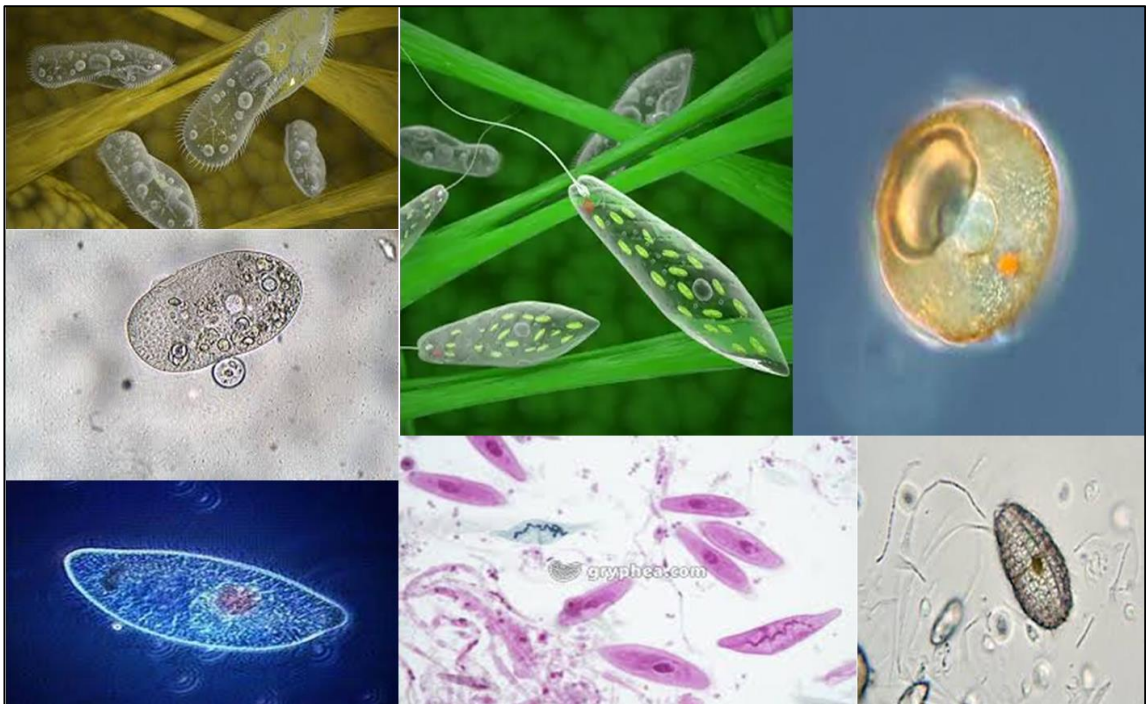


Figure 9 : Les protozoaires.

Ces organismes unicellulaires eucaryotes vivent généralement dans des environnements aquatiques, mais on les trouve aussi dans les sols et à l'intérieur d'autres organismes en tant que parasites. Contrairement aux bactéries, qui sont des procaryotes, les protozoaires possèdent un noyau bien défini et divers organites, ce qui les rend plus complexes. Ils sont très diversifiés,

avec des milliers d'espèces différentes et ils peuvent être classés en plusieurs groupes selon leur mode de locomotion. En revanche, certains protozoaires, comme les sporozoaires, sont des parasites et ne se déplacent pas activement.

En effet, ils jouent un rôle crucial dans les écosystèmes, notamment en tant que prédateurs de bactéries et d'autres microorganismes, ce qui contribue au contrôle des populations microbiennes. Cependant, certains protozoaires peuvent également être responsables de maladies graves chez les humains et les animaux, telles que le paludisme, causé par le genre *Plasmodium*, et la maladie du sommeil, causée par le *Trypanosoma*.

2.1.1. Structure et morphologie

Les protozoaires sont des eucaryotes unicellulaires microscopiques dotés d'une structure interne relativement complexe et capables d'effectuer des activités métaboliques complexes. Certains protozoaires possèdent des structures qui leur permettent de se déplacer de différentes manières.

La plupart des protozoaires parasites de l'homme mesurent moins de 50 μm . Les plus petits (principalement les formes intracellulaires) mesurent de 1 à 10 μm de long, mais *Balantidium coli* peut mesurer 150 μm . Les protozoaires sont des eucaryotes unicellulaires. Comme chez tous les eucaryotes, le noyau est enfermé dans une membrane. Chez les protozoaires autres que les ciliés, le noyau est vésiculaire, avec une chromatine dispersée donnant un aspect diffus au noyau, tous les noyaux d'un organisme individuel se ressemblent. Un type de noyau vésiculaire contient un corps plus ou moins central, appelé endosome ou caryosome. L'endosome est dépourvu d'ADN chez les amibes et les trypanosomes parasites. Dans le phylum Apicomplexa, en revanche, le noyau vésiculaire possède un ou plusieurs nucléoles contenant de l'ADN. Les ciliés possèdent à la fois un micronoyau et un macronoyau, qui semblent assez homogènes dans leur composition.

Les organites des protozoaires ont des fonctions similaires à celles des organes des animaux supérieurs. La membrane plasmique qui entoure le cytoplasme recouvre également les structures locomotrices en saillie telles que les pseudopodes, les cils et les flagelles. La couche superficielle externe de certains protozoaires, appelée pellicule, est suffisamment rigide pour conserver une forme distinctive, comme dans le cas des trypanosomes et des *Giardia*.

Cependant, ces organismes peuvent facilement se tordre et se courber lorsqu'ils se déplacent dans leur environnement. Chez la plupart des protozoaires, le cytoplasme est différencié en ectoplasme (la couche externe transparente) et en endoplasme (la couche interne contenant les organites) ; la structure du cytoplasme est plus facilement visible chez les espèces à pseudopodes en saillie, comme les amibes. Certains protozoaires ont un cytosome ou une « bouche » cellulaire pour ingérer des fluides ou des particules solides. Des vacuoles contractiles pour l'osmorégulation sont présentes chez certains, comme *Naegleria* et *Balantidium*. De nombreux protozoaires ont des microtubules sous-pelliculaires ; Chez les apicomplexes, qui ne possèdent pas d'organites externes pour la locomotion, ces derniers fournissent un moyen de déplacement lent. Les trichomonas et les trypanosomes ont une membrane ondulante caractéristique entre la paroi corporelle et un flagelle. De nombreuses autres structures sont présentes chez les protozoaires parasites, notamment l'appareil de Golgi, les mitochondries, les lysosomes, les vacuoles alimentaires, les conoïdes chez les apicomplexes et d'autres structures spécialisées. La microscopie électronique est essentielle pour visualiser les détails de la structure des protozoaires. Du point de vue de la complexité fonctionnelle et physiologique, un protozoaire ressemble plus à un animal qu'à une cellule unique [Figure 10].

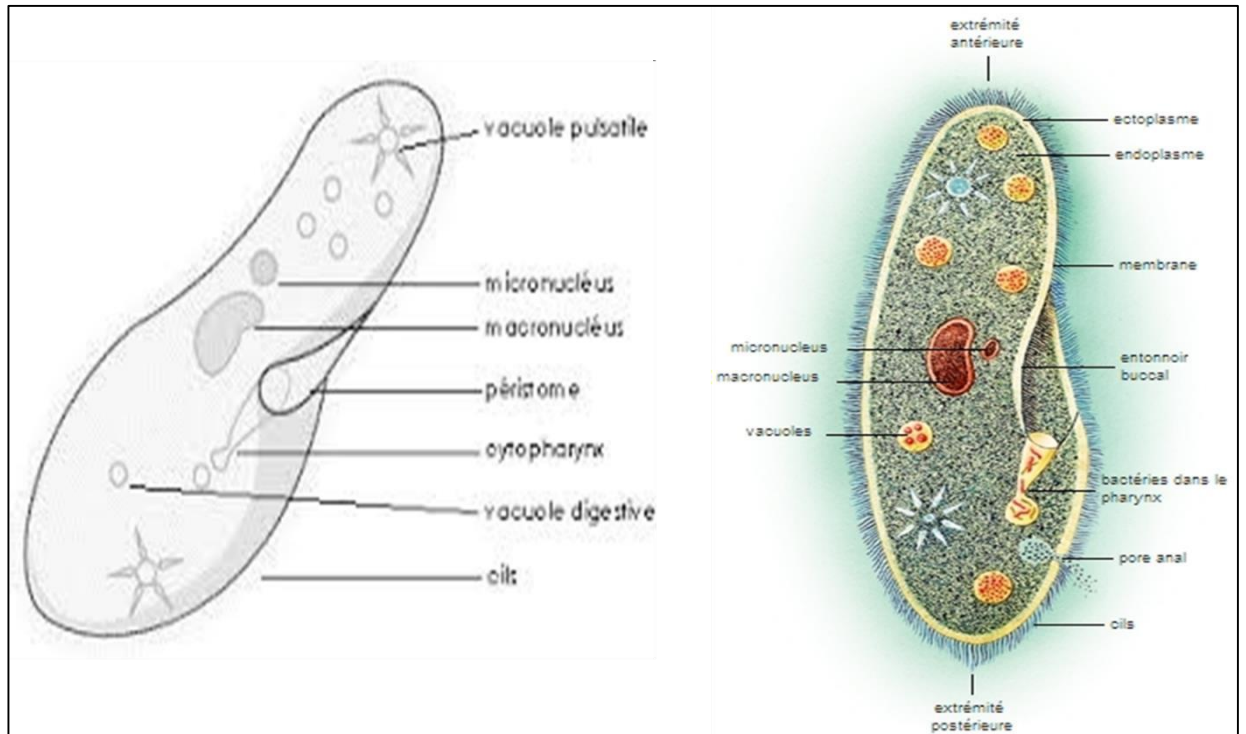


Figure 10 : Organisation cellulaire d'un protozoaire.

❖ **Anatomie générale**

○ ***Organites intracytoplasmiques***

Noyau : de structure variable.

- Chez les ciliés, il existe 2 noyaux : 1 Macronucleus (noyau somatique) et 1 micronucleus (noyau reproducteur).
- Le noyau est le plus souvent unique sauf au moment de la division de la cellule.
- Chez les flagellés, il existe, en outre, une masse (ou plusieurs) chromatiques : kinétosome flanqué souvent d'un kinétoplaste (corps parabasal).

Autres organites

Egalement, on distingue dans le cytoplasme, l'appareil de Golgi qui est à l'origine de l'appareil parabasal des flagellés, l'ergastoplasme, vacuoles et les mitochondries.

○ ***Organites locomoteurs***

Les protozoaires sont munis soit de flagelles, soit de cils ou pseudopodes (prolongements cytoplasmiques irréguliers) selon le groupe (flagellés, ciliés, rhizopodes). Certains protozoaires sont dépourvus d'organites locomoteurs et se déplacent par simple glissement [Figure 11].

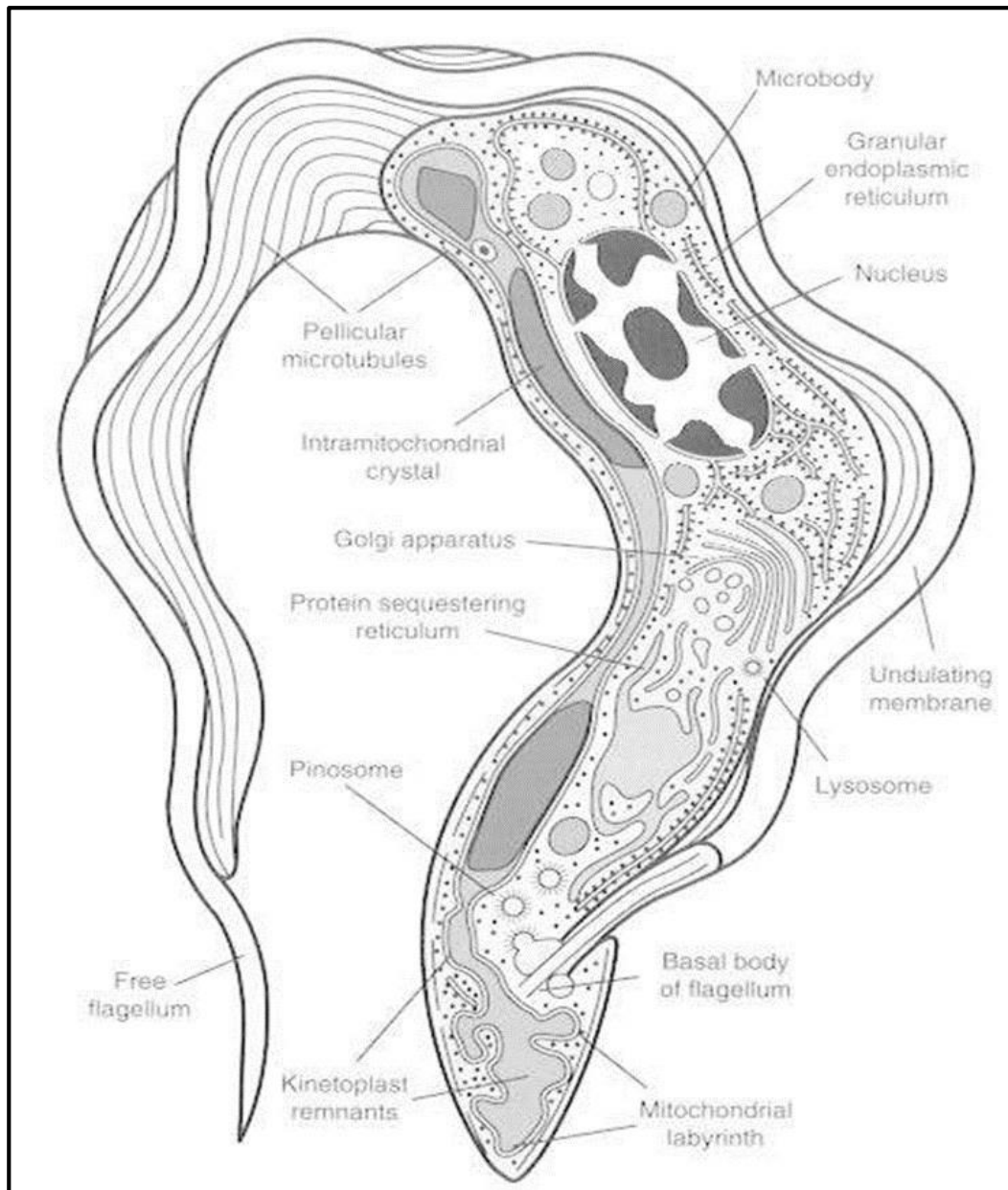


Figure 11 : Structure fine d'un parasite protozoaire, *Trypanosoma evansi*, révélée par microscopie électronique à transmission de coupes minces.

2.1.2. Habitat et nutrition

De nombreux protozoaires vivent à l'état libre dans la nature, tandis que d'autres sont des parasites qui se trouvent dans diverses parties de l'organisme (sang, tube digestif, système réticulo-histiocytaire...), où ils peuvent être soit libres, soit intracellulaires. En fait, La nutrition des protozoaires est très variable, certains se nourrissent de sang, d'autres de débris alimentaires, tissus...

La nutrition de tous les protozoaires est holozoïque, c'est-à-dire qu'ils ont besoin de matières organiques, qui peuvent être particulières ou en solution. Les amibes engloutissent les aliments particuliers ou les gouttelettes à travers une sorte de bouche temporaire, effectuent la digestion et l'absorption dans une vacuole alimentaire et éjectent les déchets. De nombreux protozoaires ont une bouche permanente, le cytosome ou micropore, à travers laquelle la nourriture ingérée passe pour être enfermée dans des vacuoles alimentaires. La pinocytose est une méthode d'ingestion de matières nutritives par laquelle le liquide est aspiré à travers de petites ouvertures temporaires dans la paroi corporelle. La matière ingérée est enfermée dans une membrane pour former une vacuole alimentaire.

Les protozoaires ont des voies métaboliques similaires à celles des animaux supérieurs et nécessitent les mêmes types de composés organiques et inorganiques. Ces dernières années, des progrès significatifs ont été réalisés dans la conception de milieux chimiquement définis pour la culture *in vitro* de protozoaires parasites. Les organismes obtenus sont exempts de diverses substances présentes dans les organismes cultivés dans des milieux complexes ou isolés d'un hôte et qui peuvent interférer avec les études immunologiques ou biochimiques. La recherche sur le métabolisme des parasites présente un intérêt immédiat car les voies qui sont essentielles pour le parasite mais pas pour l'hôte sont des cibles potentielles pour les composés antiprotozoaires qui bloqueraient cette voie tout en étant sans danger pour les humains. De nombreux médicaments antiprotozoaires ont été utilisés empiriquement bien avant que leur mécanisme d'action ne soit connu. Les médicaments sulfamides, qui bloquent la synthèse de folate chez les parasites du paludisme, en sont un exemple.

Le taux de multiplication rapide de nombreux parasites augmente les risques de mutation ; par conséquent, des changements de virulence, de sensibilité aux médicaments et d'autres caractéristiques peuvent se produire. La résistance à la chloroquine chez *Plasmodium falciparum* et la résistance à l'arsenic chez *Trypanosoma rhodesiense* en sont deux exemples.

La compétition pour les nutriments n'est généralement pas un facteur important dans la pathogénèse car les quantités utilisées par les protozoaires parasites sont relativement faibles. Certains parasites qui peuplent l'intestin grêle peuvent considérablement perturber la digestion

et l'absorption et affecter l'état nutritionnel de l'hôte ; Giardia et Cryptosporidium en sont des exemples. La destruction des cellules et des tissus de l'hôte résultant des activités métaboliques des parasites augmente les besoins nutritionnels de l'hôte. Cela peut être un facteur majeur dans l'issue d'une infection chez un individu mal nourri. Enfin, les parasites extracellulaires ou intracellulaires qui détruisent les cellules en se nourrissant peuvent entraîner un dysfonctionnement des organes et des conséquences graves, voire mortelles.

2.1.3. Reproduction

La reproduction chez les protozoaires peut être asexuée, comme chez les amibes et les flagellés qui infectent les humains, ou à la fois asexuée et sexuée, comme chez les apicomplexes d'importance médicale. Le type de multiplication asexuée le plus courant est la fission binaire, dans laquelle les organites sont dupliqués et le protozoaire se divise ensuite en deux organismes complets. La division est longitudinale chez les flagellés et transversale chez les ciliés ; les amibes n'ont pas d'axe antéro-postérieur apparent. L'endodyogénie est une forme de division asexuée observée chez Toxoplasma et certains organismes apparentés. Deux cellules filles se forment dans la cellule mère, qui se rompt ensuite, libérant la progéniture plus petite qui grandit jusqu'à sa taille maximale avant de répéter le processus. Dans la schizogonie, une forme courante de division asexuée chez les apicomplexes, le noyau se divise plusieurs fois, puis le cytoplasme se divise en mérozoïtes uninucléés plus petits. Chez Plasmodium, Toxoplasma et d'autres apicomplexes, le cycle sexuel implique la production de gamètes (gamogonie), la fécondation pour former le zygote, l'enkystement du zygote pour former un oocyste et la formation de sporozoïtes infectieux (sporogonie) dans l'oocyste.

Certains protozoaires ont des cycles de vie complexes nécessitant deux espèces hôtes différentes ; d'autres n'ont besoin que d'un seul hôte pour terminer leur cycle de vie. Un seul protozoaire infectieux pénétrant dans un hôte sensible a le potentiel de produire une immense population. Cependant, la reproduction est limitée par des événements tels que la mort de l'hôte ou par les mécanismes de défense de l'hôte, qui peuvent soit éliminer le parasite, soit équilibrer la reproduction du parasite pour provoquer une infection chronique. Par exemple, le paludisme peut survenir lorsque seulement quelques sporozoïtes de Plasmodium falciparum (peut-être dix ou moins dans de rares cas) sont introduits par un moustique anophèle en train de se nourrir chez une personne sans immunité. Des cycles répétés de schizogonie dans la circulation

sanguine peuvent entraîner l'infection de 10 pour cent ou plus des érythrocytes, soit environ 400 millions de parasites par millilitre de sang.

❖ Multiplication asexuée

Elle se fait à partir des formes végétatives, les trophozoïtes :

- soit par division binaire simple, aboutissant à la formation de 2 individus identiques au premier.
- soit par schizogonie (ou mérogonie) : avec une division multiple du noyau donnant naissance à une cellule plurinuclée, et une fragmentation du cytoplasme aboutissant à la formation des éléments nouveaux uninucléés. Il s'agit donc de la production de nombreux individus fils, formés par séparation de la cellule mère.

Il existe un autre processus de reproduction voisin de la schizogonie :

- *endodyogénie* : formation de 2 cellules filles à l'intérieur de la cellule mère.

❖ Reproduction sexuée

Elle s'effectue selon divers processus : copulation simple ou suivie de sporulation, conjugaison.

- Copulation : fusion totale de 2 individus reproducteurs, les gamètes.

La production de gamètes par les cellules végétatives est la gamétogonie. Les cellules productrices de gamètes sont les gamontes puis les gamétocytes. La fécondation est suivie de la formation d'un œuf. Elle est toujours précédée de réduction chromatique.

Chez certains protozoaires (sporozoaires) la fécondation est suivie d'une division de l'œuf en un certain nombre d'éléments appelés « sporozoïtes ». La formation des sporozoïtes est la sporulation ou sporogonie.

- Conjugaison : échange d'une partie des noyaux sans qu'il y ait auparavant fusion des cellules végétatives chez les ciliés.

2.1.4. Stades du cycle biologique

Au cours de son cycle biologique, un protozoaire passe généralement par plusieurs stades qui diffèrent par leur structure et leur activité. Trophozoïte (du grec « animal qui se

nourrit ») est un terme général pour le stade actif, d'alimentation et de multiplication de la plupart des protozoaires.

Chez les espèces parasites, c'est le stade généralement associé à la pathogénèse. Chez les hémoflagellés, les termes amastigote, promastigote, épimastigote et trypomastigote désignent les stades trophozoïtes qui diffèrent par l'absence ou la présence d'un flagelle et par la position du kinétoplaste associé au flagelle. Divers termes sont employés pour les stades des Apicomplexa, tels que tachyzoïte et bradyzoïte pour *Toxoplasma gondii*. Les autres stades des cycles biologiques asexués et sexués complexes observés dans ce phylum sont le mérozoïte (la forme résultant de la fission d'un schizonte multinucléé) et les stades sexuels tels que les gamétocytes et les gamètes. Certains protozoaires forment des kystes contenant une ou plusieurs formes infectieuses. La multiplication se produit dans les kystes de certaines espèces, de sorte que l'exkystement libère plus d'un organisme. Par exemple, lorsque le trophozoïte d'*Entamoeba histolytica* forme un kyste, il a un seul noyau. Au fur et à mesure que le kyste mûrit, la division nucléaire produit quatre noyaux et au cours de l'exkystement, quatre amibes métacystiques uninucléaires apparaissent. De même, une *Giardia lamblia* fraîchement enkystée possède le même nombre de structures internes (organites) que le trophozoïte. Cependant, au fur et à mesure que le kyste mûrit, les organites se doublent et deux trophozoïtes se forment. Les kystes évacués dans les selles ont une paroi protectrice, ce qui permet au parasite de survivre dans l'environnement extérieur pendant une période allant de quelques jours à un an, selon l'espèce et les conditions environnementales.

Les kystes formés dans les tissus n'ont généralement pas de paroi protectrice épaisse et dépendent du carnivorisme pour la transmission. Les oocystes sont des stades résultant de la reproduction sexuée chez les Apicomplexa. Certains oocystes d'apicomplexes sont éliminés dans les fèces de l'hôte, mais les oocystes de *Plasmodium*, l'agent du paludisme, se développent dans la cavité corporelle du moustique vecteur.

2.2. Classification

En 1985, la Society of Protozoologists a proposé une classification taxonomique des protozoaires en six embranchements. Parmi eux, les Sarcomastigophora et les Apicomplexa regroupent les espèces les plus importantes responsables de maladies humaines. Cette classification repose sur l'analyse morphologique obtenue par microscopie optique,

électronique et à balayage. Par exemple, *Dientamoeba fragilis* était initialement classé comme une amibe dans la famille des Entamoebidae. Cependant, des observations au microscope électronique ont révélé qu'il appartenait plutôt à l'ordre des Trichomonadida, un groupe de protozoaires flagellés.

Dans certains cas, des organismes semblant identiques au microscope ont reçu des noms d'espèces distincts basés sur des critères comme leur répartition géographique ou leurs manifestations cliniques. Le genre *Leishmania* en est un bon exemple, où des sous-espèces sont souvent différenciées. Pour affiner cette classification, des méthodes biochimiques ont été appliquées, comme l'analyse des profils d'isoenzymes ou l'identification de séquences spécifiques d'ARN et d'ADN. Des recherches approfondies ont également porté sur le kinétoplaste, une mitochondrie unique présente chez les hémoflagellés et autres kinétoplastides, en raison de l'intérêt scientifique pour l'ADN qu'il contient.

Le clonage joue un rôle crucial dans les études taxonomiques, par exemple pour examiner les différences de virulence ou les variations des manifestations cliniques entre isolats d'une même espèce provenant de différents hôtes ou régions géographiques. Par ailleurs, des anticorps, en particulier des anticorps monoclonaux ciblant des espèces spécifiques ou des antigènes particuliers, sont utilisés pour identifier des isolats inconnus. Finalement, bien que la taxonomie moléculaire puisse à terme offrir une base plus fiable que la morphologie pour la classification des protozoaires, le microscope reste l'outil le plus pratique pour identifier ces parasites [Tableau 1].

Tableau 1 : Classification des protozoaires parasites et des maladies associées

Phylum	Subphylum	Representative Genera	Major Diseases Produced in Human Beings	Chapter
Sarcomastigophora (with flagella, pseudopodia, or both)	Mastigophora (flagella)	<i>Leishmania</i>	Visceral, cutaneous and mucocutaneous infection	82
		<i>Trypanosoma</i>	Sleeping sickness, Chagas' disease	
		<i>Giardia</i>	Diarrhea	80
		<i>Trichomonas</i>	Vaginitis	
		<i>Entamoeba</i>	Dysentery, liver abscess	79
	Sarcodina (pseudopodia)	<i>Dientamoeba</i>	Colitis	
		<i>Naegleria</i> and <i>Acanthamoeba</i>	Central nervous system and corneal ulcers	81
		<i>Babesia</i>	Babesiosis	
	Apicomplexa (apical complex)	<i>Plasmodium</i>	Malaria	83
		<i>Isospora</i>	Diarrhea	80
		<i>Sarcocystis</i>	Diarrhea	
		<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhea	
		<i>Toxoplasma</i>	Toxoplasmosis	84
Microspora		<i>Enterocytozoon</i>	Diarrhea	—
Ciliophora (with cilia)		<i>Balantidium</i>	Dysentery	80
Unclassified		<i>Pneumocystis</i>	Pneumonia	85

2.2.1. Embranchement Sarcomastigophora

L'embranchement Sarcomastigophora regroupe une large variété de protozoaires, caractérisés principalement par leurs structures de locomotion, qui incluent des pseudopodes, des flagelles, ou les deux. Ces organismes sont principalement unicellulaires, et leur diversité morphologique et fonctionnelle leur permet d'occuper une vaste gamme d'habitats, allant des environnements aquatiques aux sols, en passant par des rôles en tant que parasites chez les plantes, les animaux et les humains.

Certaines espèces de cet embranchement sont également d'une importance médicale significative. Par exemple, *Entamoeba histolytica*, une amibe, est l'agent causal de l'amibiase, une infection intestinale potentiellement grave. D'autres membres des Mastigophora, comme le

Trypanosoma et le Leishmania, sont responsables de maladies graves telles que la maladie du sommeil et la leishmaniose.

Les espèces de ce groupe se déplacent grâce à des pseudopodes et/ou des flagelles. Ils ont un seul type de noyau. Lorsqu'elle est présente, la reproduction sexuée est une syngamie (fusion de 2 gamètes). Trois sous-embranchements seront étudiés, les flagellés, les rhizopodes et les actinopodes.

❖ SOUS EMBRANCHEMENT DES FLAGELLES

Ce sont des protozoaires mobiles grâce à un ou plusieurs flagelles. On subdivise les flagellés en quatre classes : Kinétoplastides , métamonadine , diplomonadines et les opalines [Figure 12].

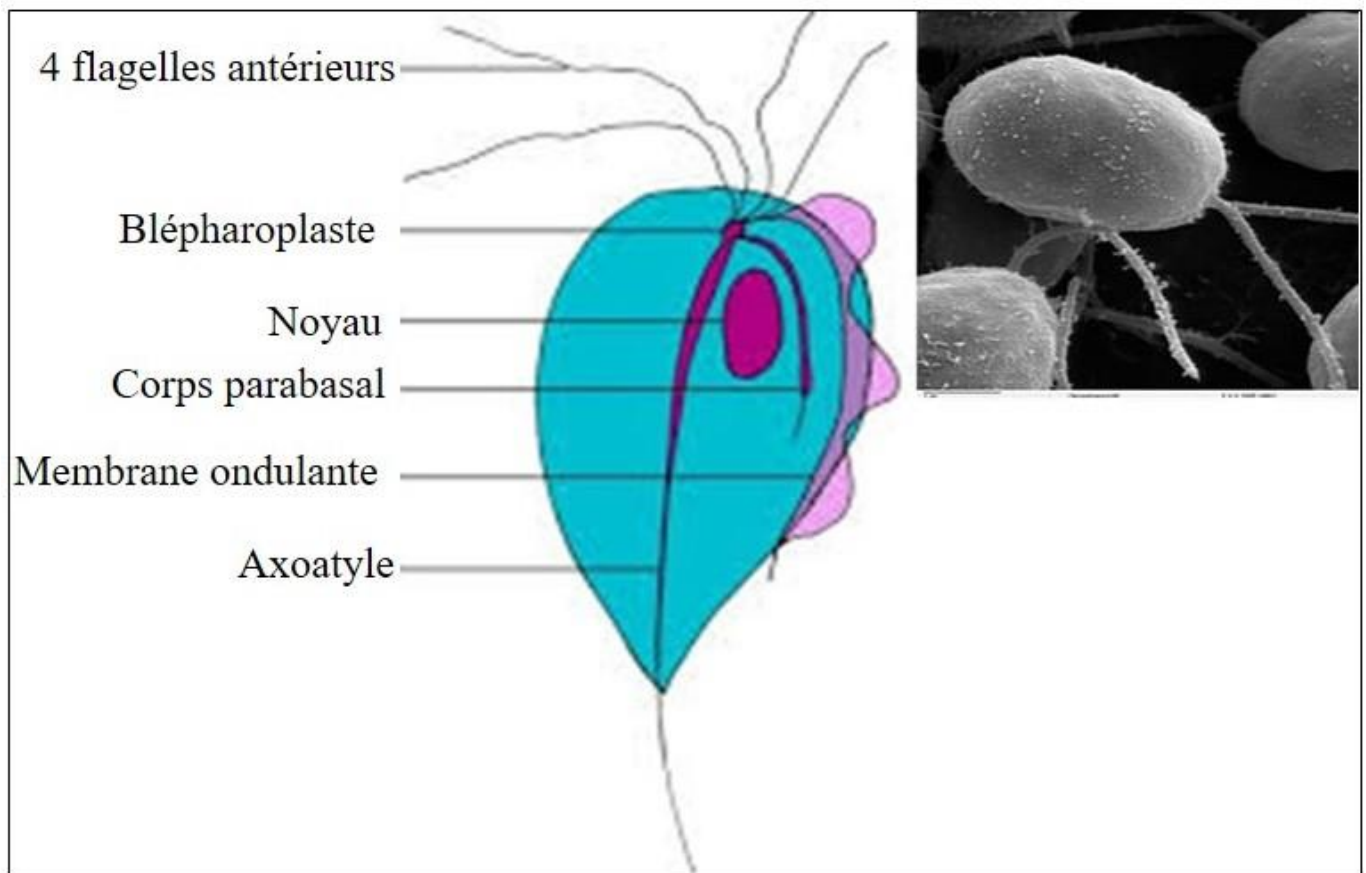


Figure 12 : Organisation d'un flagellé.

A. Classe des Kinétoplastides

Les Kinétoplastidés (Kinetoplastida) sont des protistes dotés de flagelles qui leur permettent de se déplacer. Aux côtés des Euglénophytes et des Pseudociliés, ils constituent le

Clade des Euglénobiontes. Ce sont des protozoaires dépourvue d'axostyle avec au plus 1 à 2 flagelles [Figure 13].

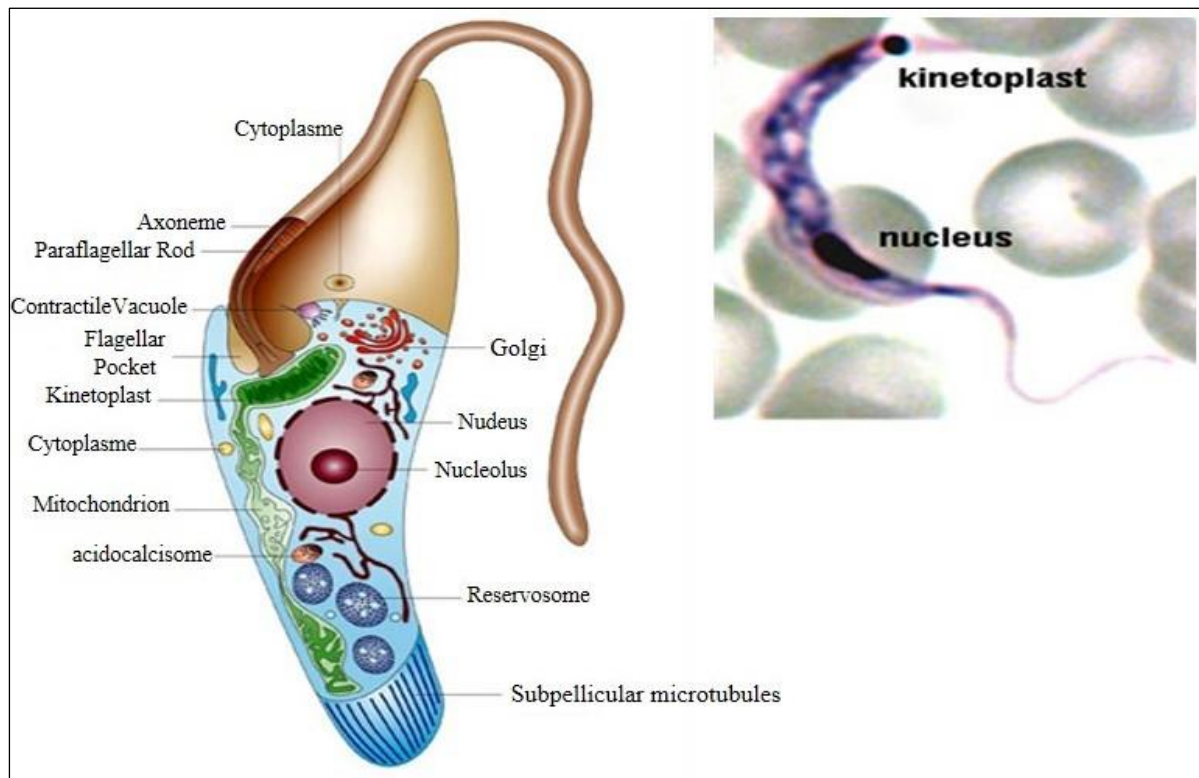


Figure 13 : Organisation d'un Kinétoplastide.

B. Classe des métamonadines

Les espèces de cette classe possèdent plus de deux flagelles. Les Métamonadines possèdent comme caractère dérivé propre : un ou deux noyaux associés à un système de microtubules. Ils possèdent également 2 paires de flagelles /noyau. L'ensemble forme le caryomastigonte [Figure 14].

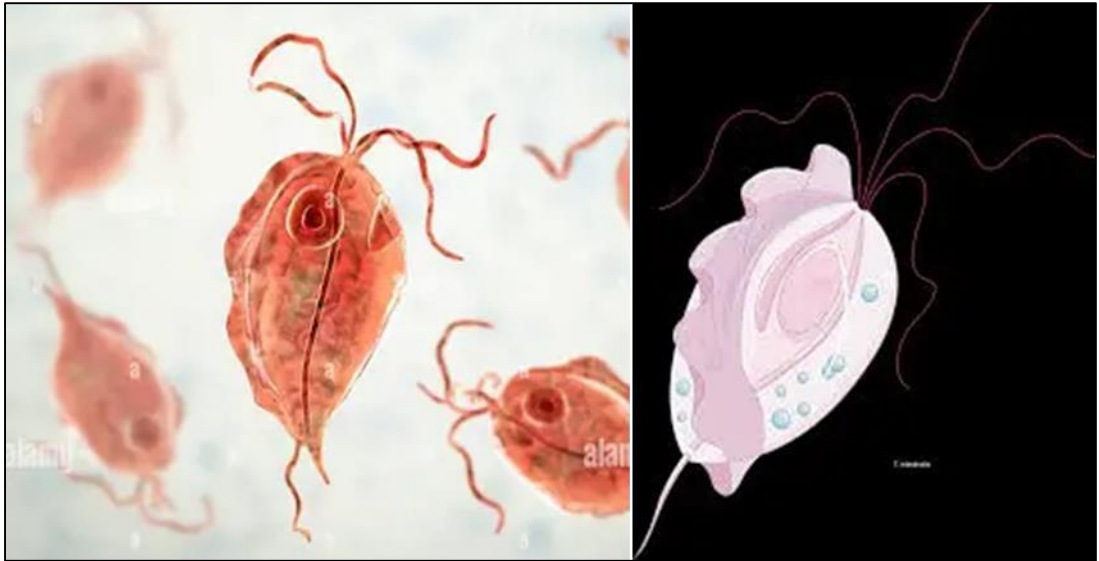


Figure 14 : Organisation des métamonadines.

C. Classe des diplomonadines

Les diplomonades (Diplomonadida), également appelées diplomonadines ou trépomonades, sont des organismes unicellulaires caractérisés par la présence de deux noyaux et de huit flagelles. Ils ne possèdent ni plastides ni appareil de Golgi en raison de pertes secondaires, mais ils contiennent une mitochondrie modifiée appelée mitosome. Ces organismes peuvent être soit parasites du tube digestif de divers animaux, tels que les sangsues et les vertébrés, soit se retrouver en milieu libre dans les eaux douces riches en matières organiques [Figure 15].



Figure 15 : Organisation des diplomonadines.

D. Classe des opalines

Ce sont des parasites des vertébrés à sang froid, ayant une forme aplatie semblable à une feuille. Leur nombre de noyaux varie de deux à plusieurs. La membrane plasmique est entourée de flagelles courts [Figure 16].

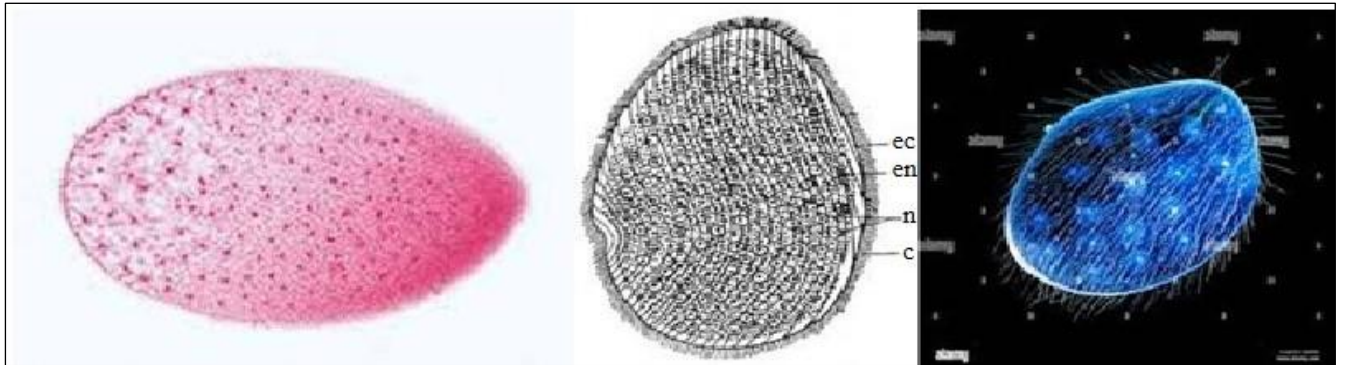


Figure 16 : Organisation des opalines.

❖ SOUS EMBRANCHEMENT DES RHIZOPODES

Les rhizopodes (Rhizopoda) représentent un petit groupe d'organismes unicellulaires hétérotrophes, comprenant environ 200 espèces. Leur classification reste incertaine, car ils partagent des caractéristiques avec d'autres groupes eucaryotes. Leurs pseudopodes, structures qui leur permettent de se déplacer par chimiotactisme en réponse à des molécules présentes dans leur environnement, pourraient être considérés comme une caractéristique commune, bien que développée indépendamment par divers taxons.

Les rhizopodes, connus pour leur mobilité et leur flexibilité, possèdent tous les organites des cellules eucaryotes. Contrairement à la plupart des cellules eucaryotes, ils n'utilisent pas les microtubules pour se déplacer, mais s'appuient sur un réseau dense de filaments d'actine, représentant environ 40 % de leur cytosquelette. Ce réseau d'actine, en interaction avec des filaments intermédiaires, permet leur mouvement via des pseudopodes.

Aujourd'hui, on pense que les Rhizopodes pourraient en fait être un groupe dérivé des Flagellés. En effet, l'étude de leur cycle évolutif a révélé que certains Rhizopodes alternent entre une phase flagellée et une phase amiboïde. Pour cette raison, certains chercheurs les regroupent avec les Flagellés sous le sous-embranchement des Rhizoflagellés. Cependant, à l'exception de

quelques formes incertaines comme *Tetramitus* et *Wahlkampfia*, les Flagellés et les Rhizopodes sont si distincts qu'il semble raisonnable de maintenir la séparation entre ces deux classes traditionnelles.

La principale caractéristique des Rhizopodes reste donc le mouvement amiboïde qui se manifeste par la faculté d'émettre des pseudopodes, c'est-à-dire des expansions cytoplasmiques temporaires servant à la fois à la locomotion et à la capture des proies par phagocytose [Figure 17].

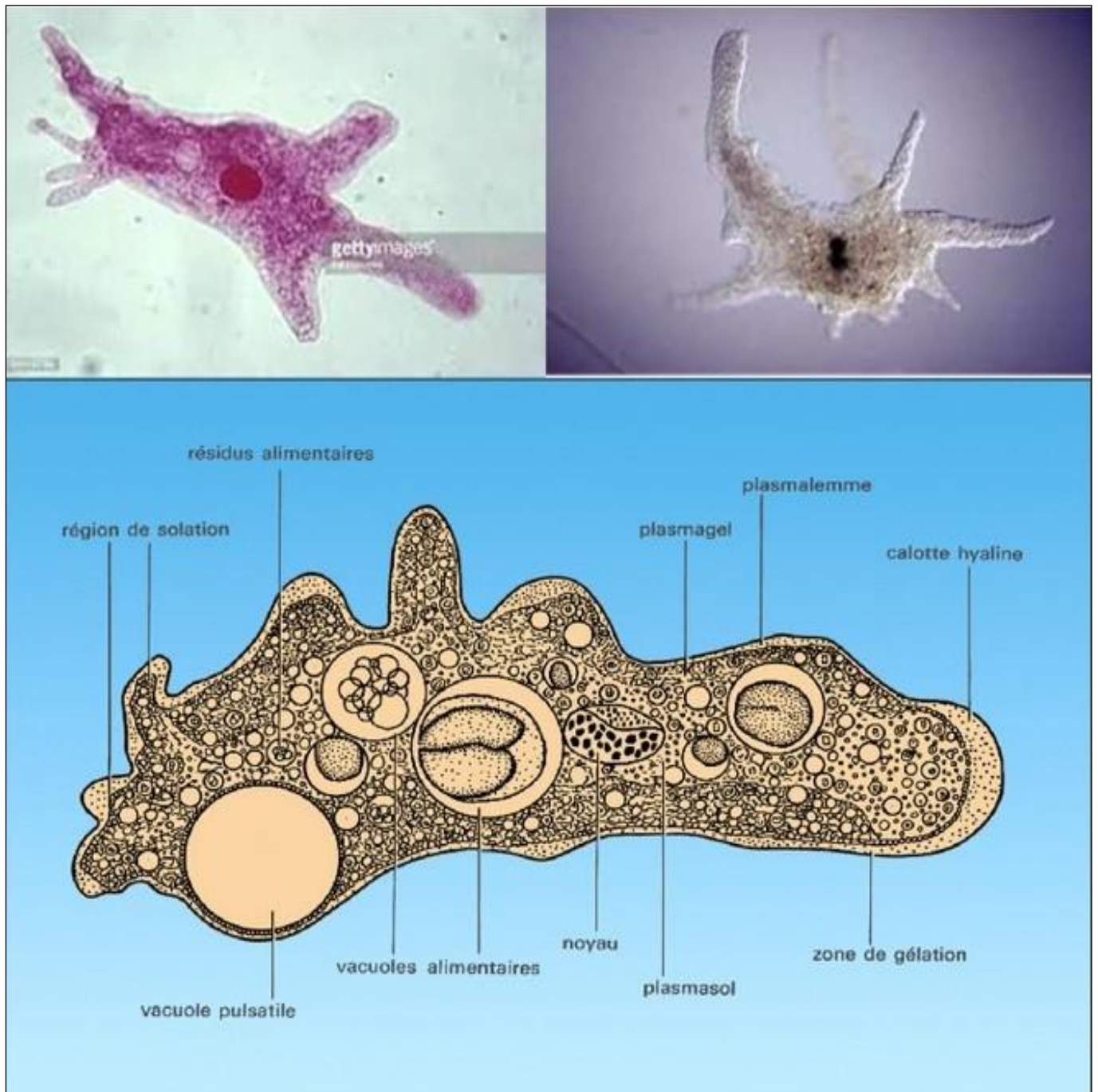


Figure 17 : Structure d'un rhizopode.

Les rhizopodes, assez hétérogène, comprend 2 classes : les amibiens [amoebiens] et les foraminifères.

A. Classes des amibiens [amoebiens]

Les Amœbiens (ou amibes) possèdent des pseudopodes lobés ou filiformes et plus ou moins digités. Leur principale caractéristique est leur forme changeante et amorphe, qui leur permet de se déplacer et de capturer leur nourriture en formant des extensions temporaires de leur cytoplasme appelées pseudopodes. Ces pseudopodes leur confèrent une grande flexibilité et mobilité. Ils sont caractérisés par leur capacité à changer de forme grâce à ces extensions appelées pseudopodes.

Ces pseudopodes leur permettent de se déplacer et de capturer des proies, généralement des bactéries, des algues, ou d'autres petites particules organiques. Les amoebiens se trouvent dans une variété d'environnements, allant des sols humides aux eaux douces, et même dans les intestins de certains animaux.

La structure d'une amibe est relativement simple, avec une membrane cellulaire entourant le cytoplasme qui contient le noyau et d'autres organites cellulaires. Malgré leur simplicité, les amoebiens peuvent effectuer des processus biologiques complexes comme la phagocytose, où ils enveloppent et digèrent leur nourriture [Figure 18].



Figure 18 : Structure d'une amibe avec pseudopodes lobés.

B. Classe des foraminifères

Les Foraminifères sont caractérisés par leurs pseudopodes réticulés et leur test rigide. Ils sont caractérisés par leurs coquilles, appelées tests, qui sont généralement calcaires et souvent divisées en plusieurs loges ou chambres. Ces chambres restent en communication entre elles grâce à des ouvertures successives, appelées foramens, qui perforent les parois séparant les différentes chambres. Le nom "Foraminifères" provient d'ailleurs du latin "foramen", signifiant "ouverture" ou "trou".

Le test des foraminifères, initialement organique, se minéralise progressivement et peut parfois incorporer des particules externes. Il existe différents types de tests : agglutiné (particules exogènes), microgranuleux (grains de calcite), porcelané (calcitique lisse) ou hyalin (cristallin). Les foraminifères construisent de nouvelles loges à leur test, disposées selon des géométries spécifiques à chaque espèce, telles que rectilignes, enroulées ou cycliques. Les agencements peuvent être simples ou complexes, et la surface du test peut présenter diverses textures, comme des stries, des côtes, ou des piquants [Figure 19].

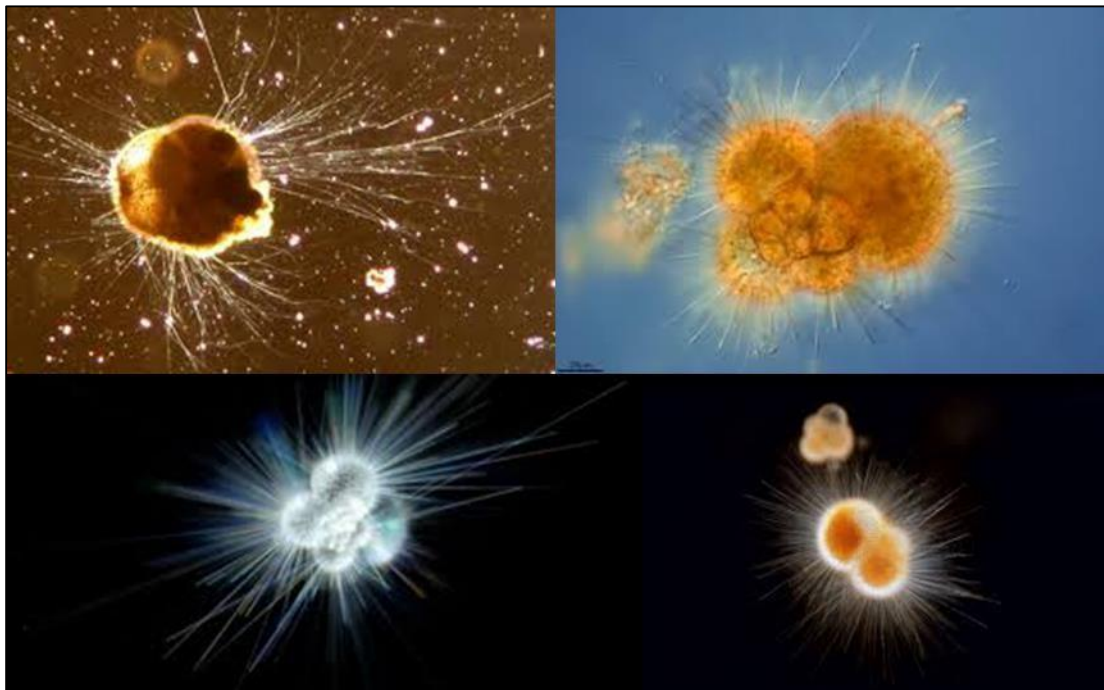


Figure 19 : Classe des foraminifères.

❖ SOUS EMBRANCHEMENT DES ACTINOPODES

Les Actinopodes sont des protozoaires aquatiques, marins ou d'eau douce, reconnaissables par leurs axopodes, des pseudopodes fins et rigides formés de faisceaux de microtubules organisés au centre de la cellule. Leur cytoplasme est structuré en deux couches distinctes : l'ectoplasme et l'endoplasme. Ce groupe de Protistes se distingue par des squelettes très élaborés et parmi les plus complexes, souvent à symétrie sphérique, avec des spicules et des extensions cytoplasmiques comme les filopodes, axopodes, et épines squelettiques. Les Actinopodes possèdent des mitochondries à crêtes tubulaires, mais n'ont pas de plastides. Certaines espèces ont des stades flagellés, tandis que d'autres sont multinucléées [Figure 20].

Ils sont divisés en 3 sous classes : Les acanthaires, Les radiolaires et les héliozoaires

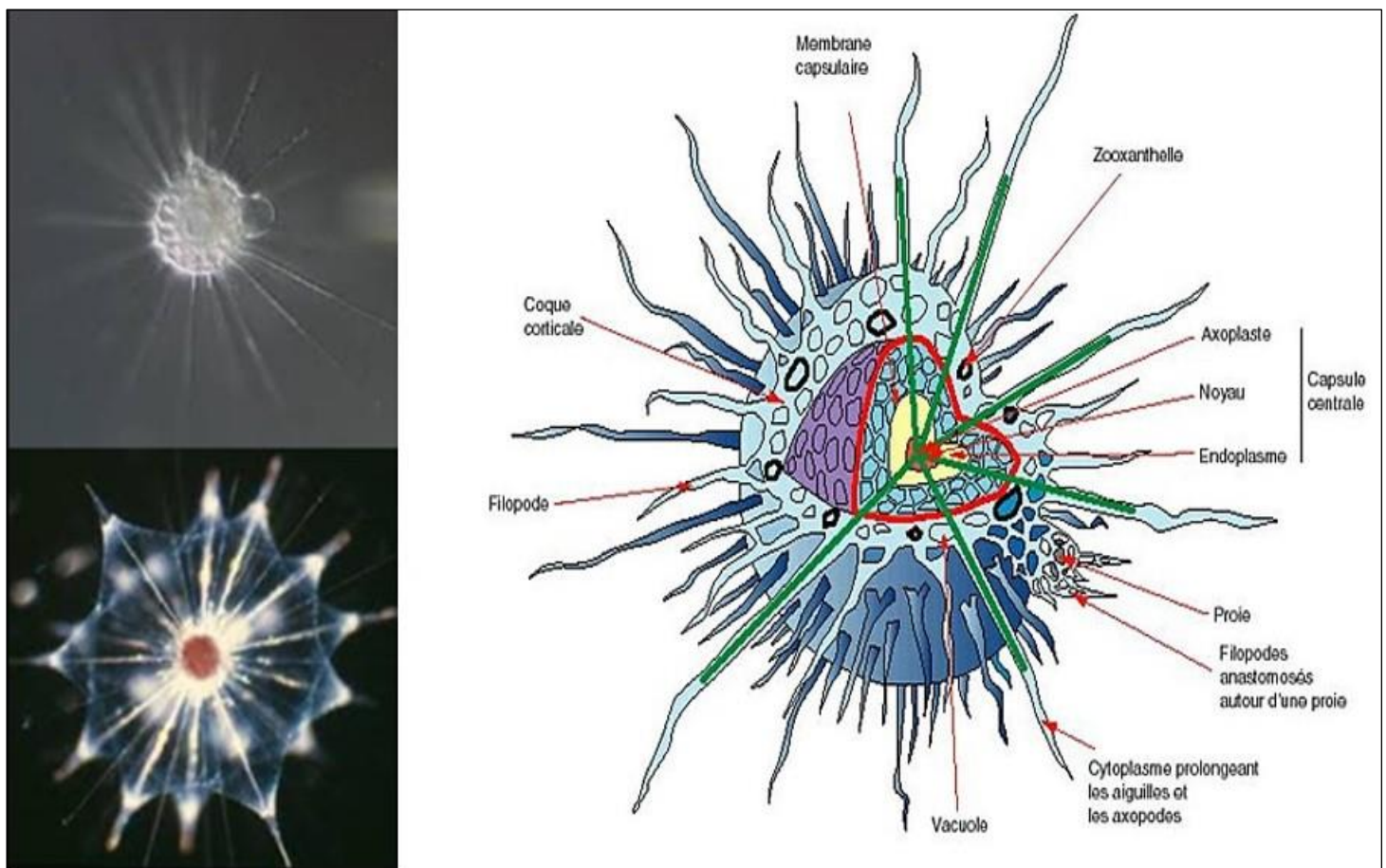


Figure 20 : Structure des Actinopodes.

A. Classe des acanthaires

Les Acanthaires (Acantharia Haeckel, 1881) constituent l'un des trois groupes d'Actinopodes. Leur test est principalement composé de célestine, une combinaison de matière

organique et de sulfate de strontium. Les axopodes des Acanthaires hébergent des algues, supposées endosymbiotiques, appelées Zooxanthelles. Cependant, ces organismes semblent

inhiber la division des algues tout en favorisant la multiplication de leurs chloroplastes, ce qui leur permet de "voler" la matière organique produite par les algues, un processus appelé "cytokleptie". Cette relation semble déséquilibrée, remettant en question l'idée d'une véritable symbiose. Les Acanthaires se distinguent également par leur symétrie radiale particulièrement précise, avec des spicules symétriques, au nombre fixe de dix, et de longueur égale [Figure 21].

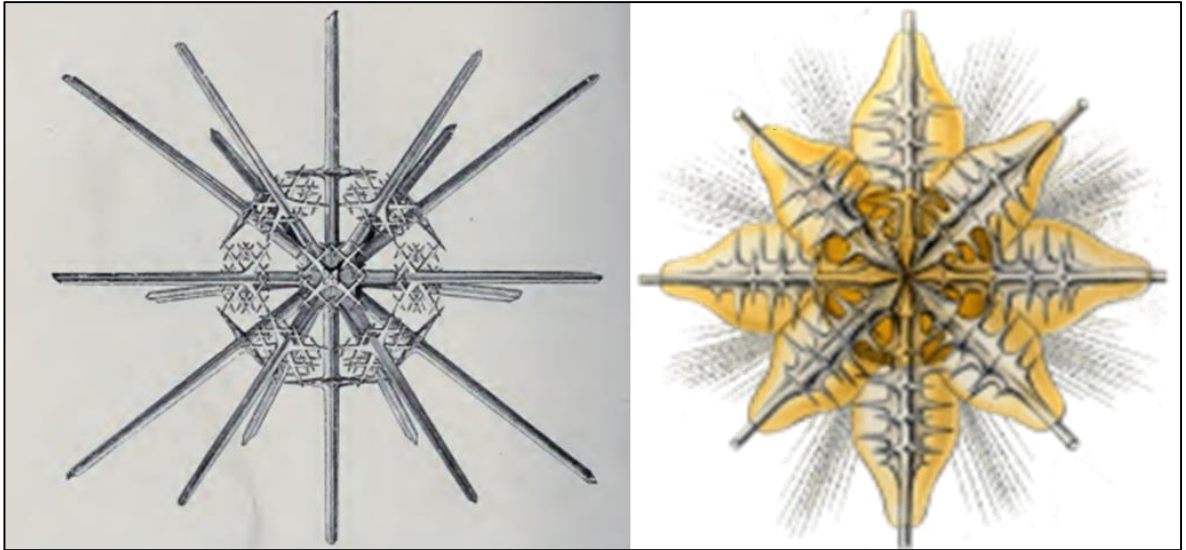


Figure 21 : Classe des acanthaires.

B. Classe des radiolaires

Les Radiolaires possèdent une structure centrale de chitine et des pseudopodes fins et rayonnants. Leur test est composé de silice. Ils vivent dans les eaux marines, aussi bien en tant que plancton qu'à proximité des fonds marins, y compris dans les zones abyssales. Les Radiolaires jouent un rôle géologique important, contribuant par bioaccumulation à la formation de roches siliceuses, généralement rouges, appelées radiolarites [Figure 22].

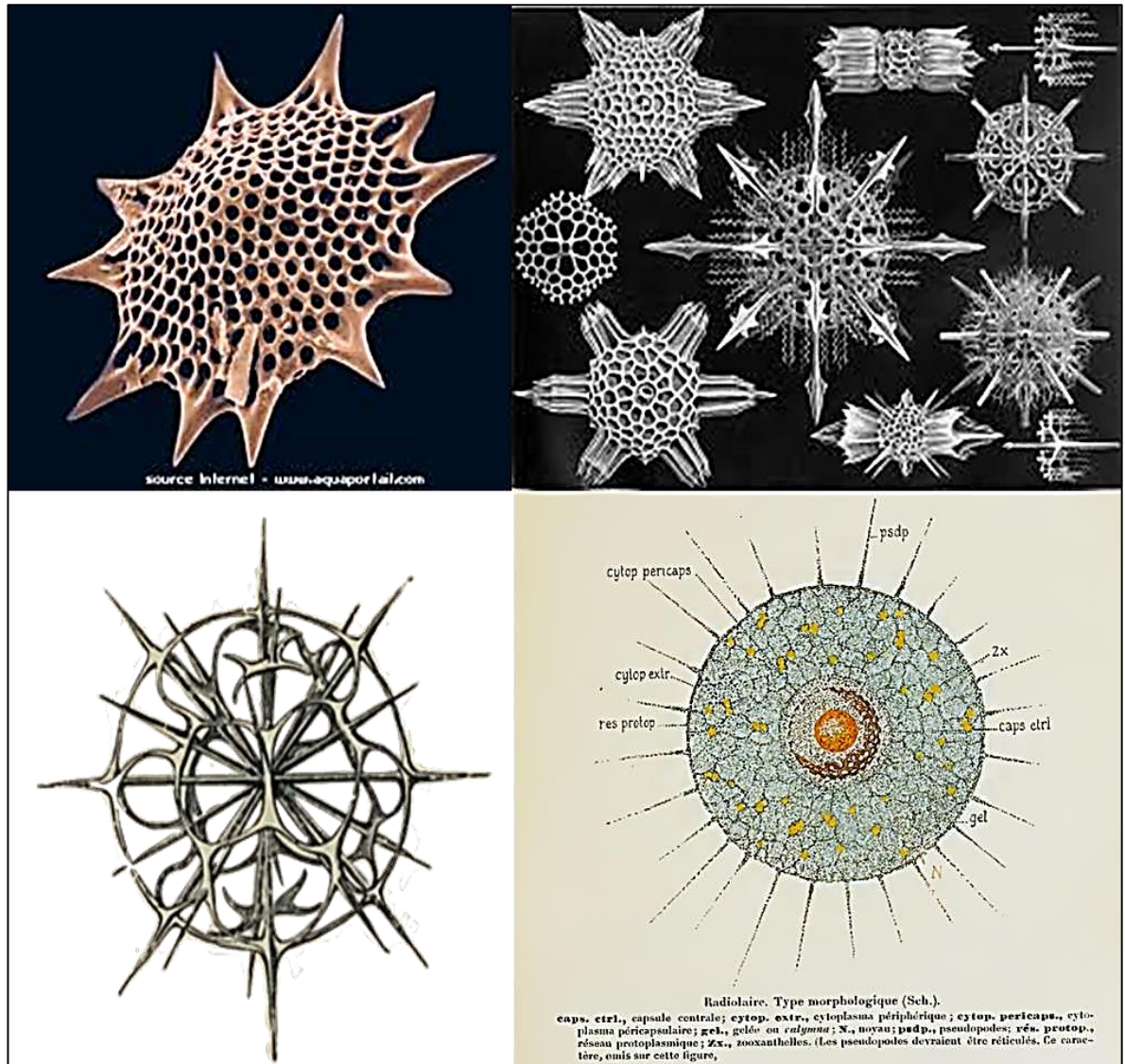


Figure 22 : Classe des radiolaires.

C. Classe des Héliozoaires

Ils sont caractérisés par la présence de pseudopodes radiés et fins. Le test quand il est présent est siliceux. Les héliozoaires peuvent être nus ou enfermés dans un test perforé par des ouvertures permettant le passage des axopodes. Ils habitent essentiellement les eaux douces [Figure 23].

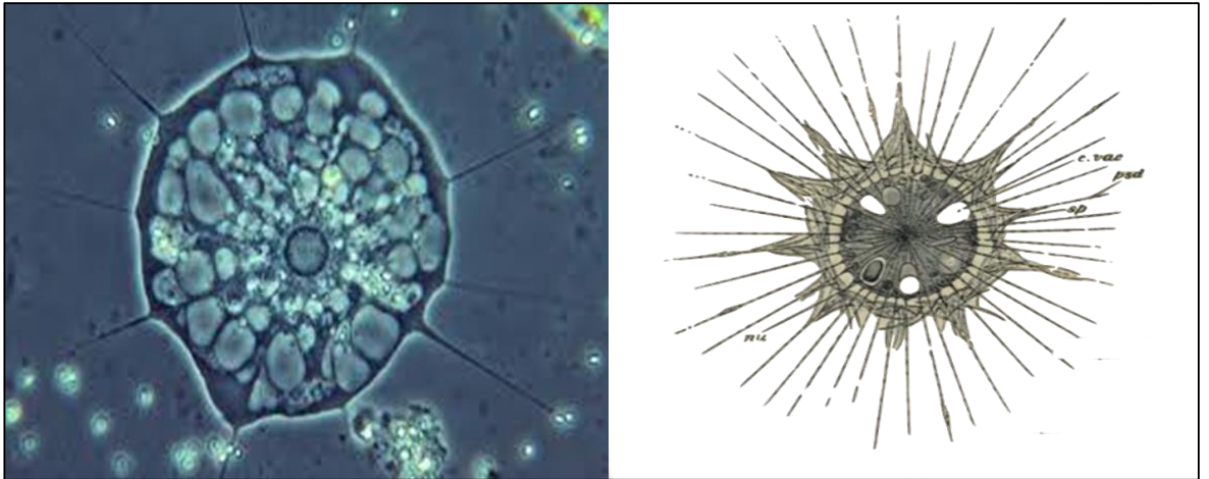


Figure 23 : Classe des Héliozoaires.

2.2.2. Embranchement Ciliophora

L'embranchement des Ciliophora, ou ciliés, regroupe des protozoaires unicellulaires dotés de cils qui leur permettent de se déplacer et de se nourrir dans des environnements aquatiques. C'est le groupe le plus complexe parmi les protozoaires.

Ces organismes possèdent une organisation cellulaire complexe, avec deux types de noyaux : un macronoyau pour les fonctions quotidiennes et un micronoyau pour la reproduction sexuée par conjugaison.

Les Ciliophora habitent divers milieux aquatiques, où ils jouent un rôle écologique crucial en régulant les populations microbiennes. Des genres comme *Paramecium* et *Tetrahymena* sont particulièrement étudiés en biologie. Certains ciliés vivent en symbiose avec d'autres organismes, tandis que d'autres sont parasites, démontrant ainsi leur grande diversité fonctionnelle.

❖ Morphologie générale

Parmi le vaste groupe des Protistes, les Ciliés (Ciliata) sont des Protozoaires particulièrement complexes. Bien que leur taille soit généralement microscopique, certaines espèces géantes, comme *Spirostomum ambiguum*, peuvent être facilement observées à l'œil nu, mesurant de 10 μm à environ 4 mm. Ces organismes unicellulaires présentent une grande diversité de formes et se distinguent principalement par la présence de nombreux cils vibratiles locomoteurs, qui définissent leur embranchement.

Les Ciliés possèdent également un appareil nucléaire double, comprenant un ou plusieurs macronoyaux polyploïdes, responsables des fonctions somatiques, et un ou plusieurs micronoyaux diploïdes, dont le rôle est purement sexuel. Leur appareil buccal est souvent très élaboré. La reproduction des Ciliés se fait toujours de manière asexuée, par division binaire homothétique, bien que des processus sexuels comme la conjugaison ou la cytogamie puissent précéder cette division.

Les Ciliés montrent une grande tolérance aux variations de milieu et se retrouvent dans une multitude de biotopes : eaux douces, marines ou saumâtres, sur la végétation, dans les feuilles mortes ou le sol (sous forme de kystes), dans les interstices des sables marins, dans la vase, ou encore à la surface ou à l'intérieur d'animaux divers, en tant que symbiontes ou parasites (ecto- ou endoparasites), notamment dans le tube digestif de nombreux Invertébrés ou Vertébrés.

La structure des Ciliés est très complexe, similaire à celle des autres Protistes ou des cellules de Métazoaires, avec des organites tels que des mitochondries, un réticulum endoplasmique, des ribosomes, des centrosomes (mais sans centrioles au sens strict), divers types d'éjectisomes, et des lysosomes. L'appareil de Golgi est, cependant, peu développé.

La plupart des espèces possèdent également des vacuoles contractiles pour la régulation osmotique. Le cil, avec ses structures fibrillaires, constitue l'élément central de la cellule des Ciliés. Bien que la ciliature soit généralement très visible chez la plupart des Ciliés, elle peut être réduite, voire disparaître complètement à certains stades de leur cycle de vie, comme chez les Acinétiens.

La plupart des Ciliés sont mobiles, se déplaçant à l'aide de leurs cils ou de cirres (structures composites formées de plusieurs cils). D'autres formes, non nageantes, sont sessiles et restent fixées sur un substrat ou sur un hôte dans le cas des ecto-symbiontes, ou sont libres comme les Vorticelles [Figure 24].

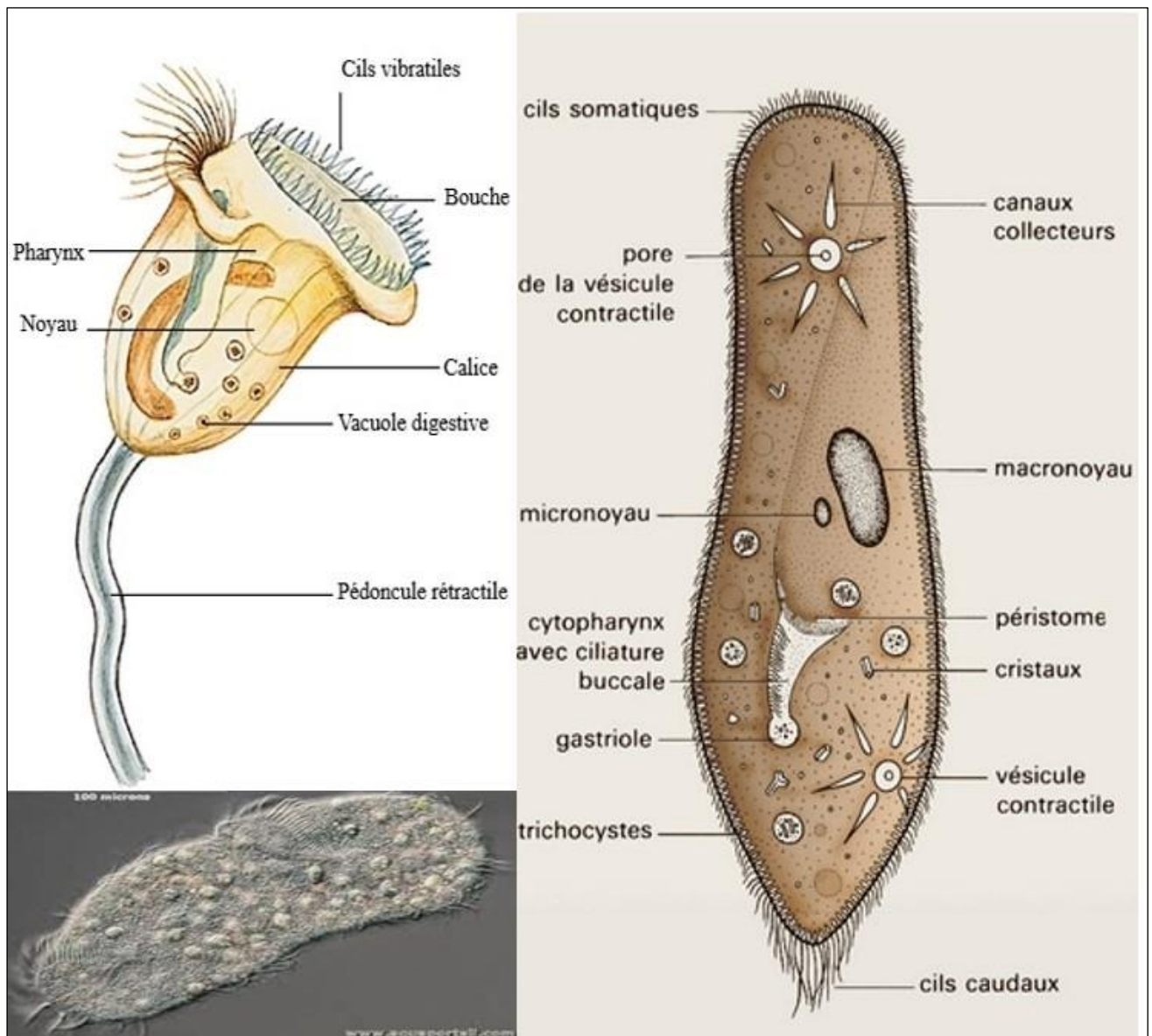


Figure 24 : Organisation des ciliés.

2.2.3. Embranchement Apicomplexa

L'embranchement des Apicomplexa regroupe un vaste ensemble de protozoaires parasites, caractérisés par la présence d'un complexe apical, un ensemble d'organites spécialisés qui leur permet de pénétrer dans les cellules hôtes. Ces organismes sont des endoparasites ayant un cycle de développement complexe. Ils se distinguent par la présence d'un complexe apical typique, visible chez les stades infectieux appelés sporozoïtes, qui leur permet de pénétrer dans les cellules hôtes. Les sporozoïtes, de forme vermiforme et uninucléés, sont produits par des sporocystes et/ou des oocystes. Le cycle de vie des Apicomplexa comporte une alternance régulière de générations sexuées et asexuées. La cellule typique des sporozoaires est uninucléée.

Ce groupe inclut des organismes bien connus tels que *Plasmodium* (responsable du paludisme) et *Toxoplasma gondii* (responsable de la toxoplasmose).

❖ **Morphologie et structure**

Leur structure cellulaire est typiquement eucaryote, avec des organites communs tels que les mitochondries et un réticulum endoplasmique, mais ils se distinguent par l'apicoplaste, un organe dérivé du chloroplaste, qui joue un rôle clé dans leur métabolisme. Les Apicomplexa sont responsables de maladies graves chez les humains et les animaux, ce qui en fait un groupe d'intérêt majeur en médecine et en biologie parasitaire.

Les apicomplexes ne possèdent pas de flagelle, sauf à certains moments du cycle vital. Ce cycle fait généralement intervenir plusieurs hôtes. La présence d'un ADN chloroplastique vestigial chez certaines espèces laisse penser que ces organismes dérivent d'un ancêtre photosynthétique, ou qu'ils ont acquis et recyclé certains gènes d'un organisme photosynthétique [Figure 25].

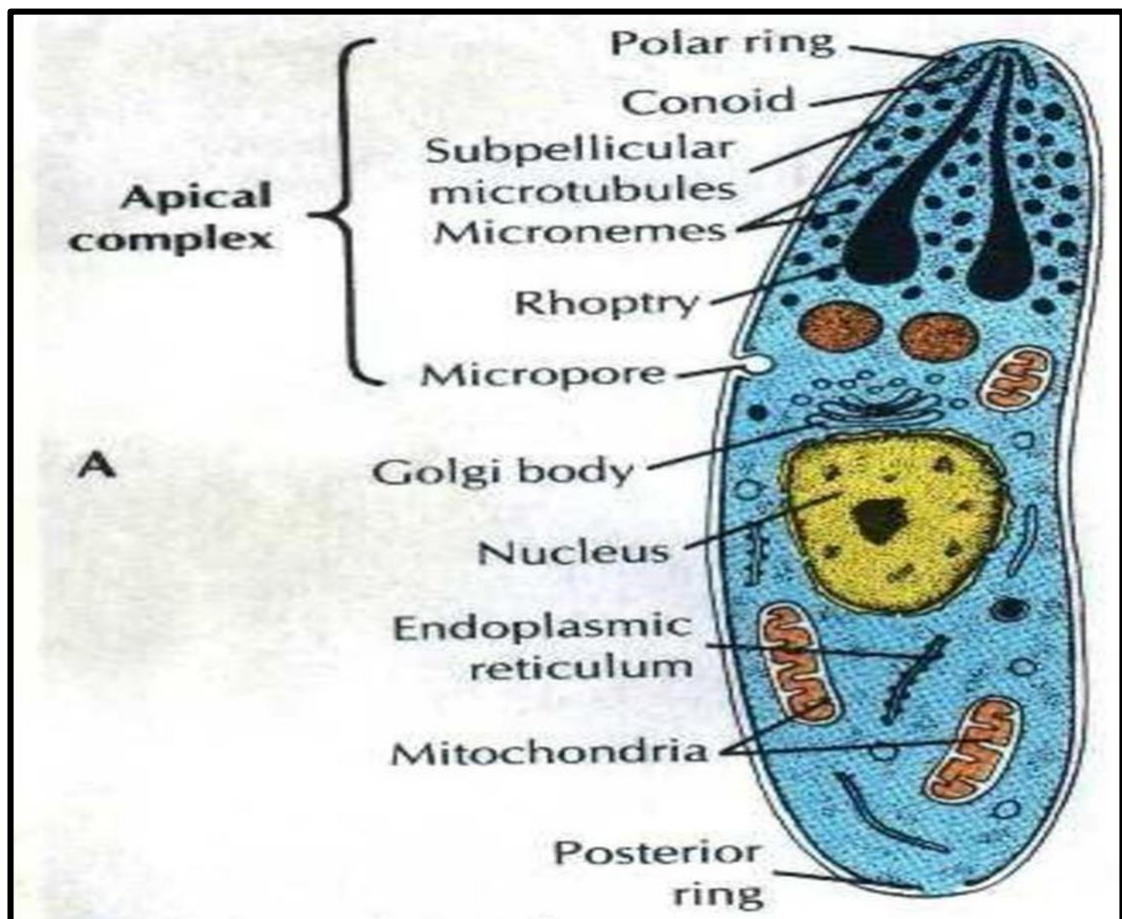


Figure 25 : Morphologie générale des apicomplexés.

❖ Reproduction

Le cycle de vie des Apicomplexa alterne entre des générations haploïdes et diploïdes, chacune pouvant se reproduire par schizogonie.

La reproduction sexuée implique la fusion d'un microgamète mâle avec un macrogamète femelle, formant ainsi un zygote, souvent flagellé. Ce zygote se développe ensuite en un oocyste, une forme de résistance dotée d'une paroi épaisse. Lorsque les conditions sont favorables, le zygote subit une méiose, suivie d'une sporogonie (de nombreuses divisions cellulaires), aboutissant à la production de sporozoïtes, des formes infectieuses haploïdes.

Ils se divisent en 2 classes : Les grégarines et les coccidies.

A. Classe des grégarines

Ils sont de grande taille et parasitent l'intestin des invertébrés. Par les particularités de leur reproduction ce sont des Sporozoaires : après l'union de cellules reproductrices ou gamètes haploïdes (n chromosomes), il se forme un œuf ou zygote diploïde ($2n$ chromosomes) qui engendrera des cellules à nouveau haploïdes, les sporozoïtes (sporogonie). Il y a donc un cycle de développement au cours duquel prédomine la phase haploïde, fait très rare dans le règne animal.

Les modalités de l'union des gamètes durant la phase sexuée du cycle (gamogonie) différencient cependant les Grégarines des autres Sporozoaires. Bien qu'ils soient presque dépourvus de pouvoir pathogène, ces Protistes présentent un grand intérêt biologique en raison de l'évolution de leur cycle de développement, qui varie considérablement.

B. Classe des coccidies

A l'exception de quelques espèces, Les coccidies sont des parasites intracellulaires. Ils se caractérisent par un cycle de vie complexe, alternant entre phases sexuées et asexuées, et parasitent principalement les cellules intestinales des vertébrés.

Les coccidies incluent des genres bien connus tels que *Eimeria* et *Isospora*, qui sont responsables de la coccidiose, une maladie affectant principalement les animaux domestiques et parfois les humains. Cette maladie peut causer des symptômes variés, allant de la diarrhée à des troubles plus graves, en fonction de l'intensité de l'infection et de la résistance de l'hôte. Les oocystes, qui sont les formes de résistance des coccidies, sont libérés dans l'environnement avec

les excréments de l'hôte infecté et peuvent survivre pendant de longues périodes, facilitant ainsi la propagation du parasite.

2.2.4. Embranchement Cnidosporidies

Dans cet embranchement, on trouve une variété hétérogène d'organismes microscopiques qui partagent le fait d'être parasites de Vertébrés ou d'Invertébrés et de posséder une spore, soit unicellulaire soit pluricellulaire, de structure complexe contenant un germe amiboïde.

Bien que ces parasites soient des Protozoaires, leur spore peut parfois être constituée de plusieurs cellules hautement différenciées, ce qui complique leur classification systématique. Les études de microscopie électronique ont permis de séparer les Microsporidies, toujours unicellulaires, des Cnidosporidies sensu stricto, dont la spore est pluricellulaire. Les Cnidosporidies présentent une différenciation de cellules somatiques et la production de cnidocystes, similaires aux nématocystes des Cnidaires, ce qui les rapproche des Métazoaires. Cependant, les incertitudes concernant leur cycle évolutif et leur reproduction rendent leur classification encore incertaine.

La spore plurinucléée est la caractéristique la plus distinctive des Cnidosporidies. Elle se forme initialement à partir de six cellules. Deux de ces cellules, appelées cellules valvaires, dégénèrent pour former la coque protectrice. Deux autres cellules, les capsules polaires ou cnidoblastes, contiennent de vastes vacuoles où se développe un cnidocyste, un organe spiralé qui se déploie lors de l'éclatement de la spore. Les deux cellules restantes contribuent à la formation du germe amiboïde responsable de l'infection.

En fonction du nombre de capsules polaires les cnidosporidies se divisent en 3 classes: Les myxosporidies, les actinomyxides et les microsporidies.

A. Classe des Myxosporidies

Les Myxosporidies sont des parasites principalement des poissons, mais aussi parfois des amphibiens, reptiles, insectes, oiseaux et mammifères. Elles se distinguent par leurs spores pluricellulaires, qui varient en forme, structure et taille. Les Myxosporidies parasitant les poissons sont particulièrement nombreuses et diversifiées, avec plus de 2310 espèces recensées (Morris, 2010). Bien que ces organismes microscopiques soient généralement tolérés par leurs

hôtes, certaines espèces peuvent être extrêmement pathogènes et causer la mort de l'hôte [Figure 26].

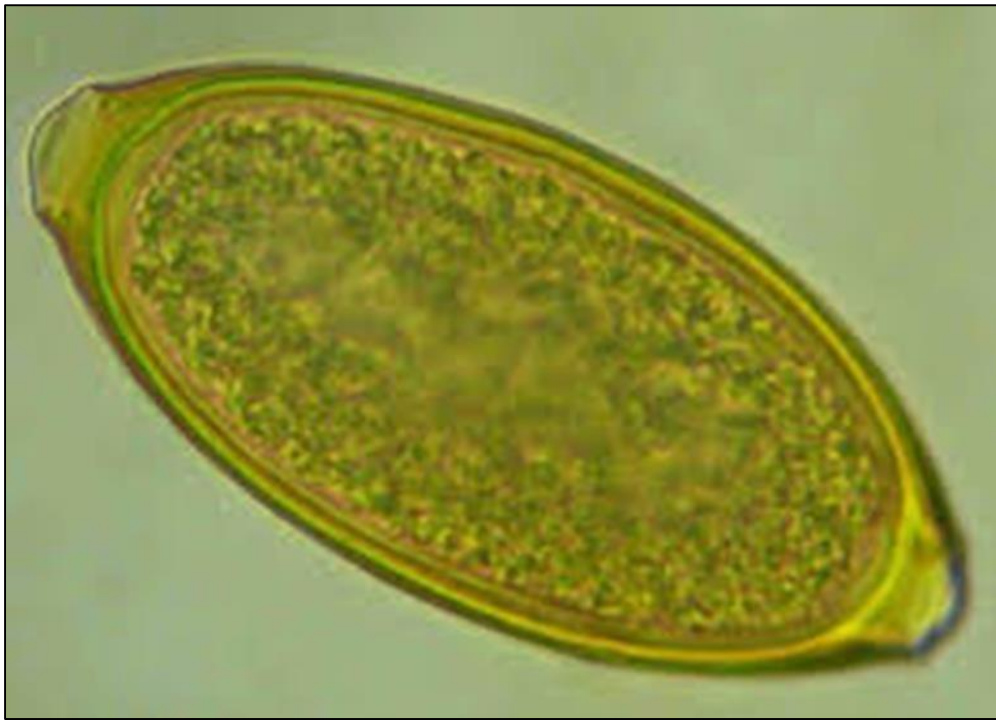


Figure 26 : Classe des Myxosporidies.

B. Classe des Actinomyxidies

Ce sont des parasites d'annélides notamment d'oligochètes. Les spores ont 3 capsules polaires, elles présentent une symétrie triradiaire via 3 cellules valvaires. Ces parasites se caractérisent par leurs spores à structure complexe, souvent constituées de plusieurs cellules et dotées d'un appareil de pénétration spécialisé. Les Actinomyxidies parasitent principalement les poissons et se développent généralement dans les tissus des branchies ou de la peau des hôtes.

Le cycle de vie des Actinomyxidies implique souvent des stades sporulés qui se libèrent dans l'environnement aquatique, où ils peuvent infecter des hôtes intermédiaires, comme les vers oligochètes. La structure de leurs spores, qui comprend des filaments ou des cellules appelées actinies, joue un rôle crucial dans l'infection des cellules de l'hôte. Bien que souvent peu pathogènes, certaines espèces peuvent causer des lésions significatives aux tissus des poissons, affectant leur santé et leur développement.

C. Classe des microsporidies

La classe des Microsporidies regroupe un groupe de protozoaires parasites très diversifiés, connus pour leur taille minuscule et leur cycle de vie complexe. Les Microsporidies sont caractérisées par leur spore unicellulaire, de forme variée mais généralement dotée d'une paroi épaisse et d'un filament infectieux appelé polar tube. Ce tube se déploie lors de l'infection, permettant à la spore de libérer son contenu directement dans la cellule hôte. Les Microsporidies infectent une large gamme d'hôtes, incluant des insectes, des poissons, des oiseaux, des mammifères et parfois des humains. Bien que souvent asymptomatiques ou provoquant des infections légères, certaines espèces peuvent être pathogènes, causant des maladies graves, en particulier chez les individus immunodéprimés.

CHAPITRE 3 : SOUS-REGNE DES METAZOAIRE

3. Sous-règne des Métazoaires

Le sous-règne des Métazoaires regroupe l'ensemble des animaux multicellulaires, distingués par une organisation biologique complexe et une différenciation cellulaire poussée. Contrairement aux unicellulaires, les Métazoaires se caractérisent par la présence de tissus, d'organes et de systèmes organiques, qui leur permettent de remplir des fonctions vitales de manière coordonnée. Ce sous-règne englobe une diversité incroyable d'organismes, allant des simples éponges aux mammifères les plus évolués. Les Métazoaires se sont adaptés à une large gamme d'environnements, marins, terrestres et aériens, et ont développé une multitude de stratégies de reproduction, de nutrition et de locomotion. Leur étude est essentielle pour comprendre les mécanismes évolutifs qui ont conduit à la complexité de la vie animale et pour explorer les relations entre les différentes formes de vie sur Terre.

La classification des Métazoaires est basée sur divers critères morphologiques, embryologiques et génétiques, permettant de regrouper les animaux multicellulaires en grandes catégories. Les Métazoaires sont divisés en plusieurs embranchements.

3.1. Embranchement Spongiaires

Les Spongiaires forment l'organisation la plus simple des Métazoaires. Il existe à peu près 10000 espèces d'Éponges, dont la taille varie de 1 cm à 2 m. Ce sont pour la plupart des animaux marins sessiles [Figure 27].



Figure 27 : Quelques spongiaires.

3.1.1. Morphologie générale

Les Spongiaires, ou éponges, possèdent une morphologie distincte parmi les Métazoaires, caractérisée par l'absence de véritables tissus et organes. La forme fondamentale est celle d'un tube à double paroi (type « ascon ») : ectomésenchyme et endoderme. Leur corps est composé de cellules spécialisées dispersées dans une matrice gélatineuse appelée mésoglée, soutenue par un squelette interne constitué de spicules (structures rigides en silice ou en carbonate de calcium) ou de fibres de spongine.

Les éponges se distinguent par un système de canaux aquifères qui permet à l'eau de circuler à travers leur corps, facilitant ainsi la filtration des particules alimentaires. Elles sont dotées d'une ou plusieurs cavités internes appelées atriums, et leur surface est percée de nombreux pores (ostia) qui laissent entrer l'eau, laquelle est ensuite expulsée par un ou plusieurs grands orifices appelés oscules.

La forme des éponges varie largement, allant de structures simples et tubulaires à des formes complexes et ramifiées ou encrustantes, adaptées à leur environnement aquatique. Cette diversité morphologique leur permet d'habiter une large gamme d'habitats marins, des eaux peu profondes aux abysses.

Leur taille, leur couleur et la complexité de leur structure varie d'une espèce à une autre. Ils sont diploblastiques. La paroi de leur corps est formée de :

- Membrane externe ou ectoderme est un simple épithélium de revêtement. Elle est formée de cellules épidermiques, les pinacocytes.
- Membrane interne ou endoderme est formée de cellules à collerette, les choanocytes qui tapissent la cavité gastrale (ou atrium). Ces cellules sont flagellées afin d'assurer une circulation d'eau et une rétention de nourriture.
- Ces deux couches cellulaires sont séparées par une couche gélatineuse ou mésoglée dans laquelle se trouvent de minuscules spicules qui peuvent être calcaires, siliceuses ou constituées d'une substance cornée (spongine = protéine) qui renforcent la structure de l'éponge. Les spicules sont isolés ou soudés les uns aux autres en une armature rigide [Figure 28].

La cavité interne communique avec l'extérieur par deux types d'orifices, les pores inhalants (ostia) permettant le passage de l'eau vers l'intérieur de l'éponge et le pore exhalant (oscul), gros orifice permettant l'évacuation de l'eau [Figure 29].

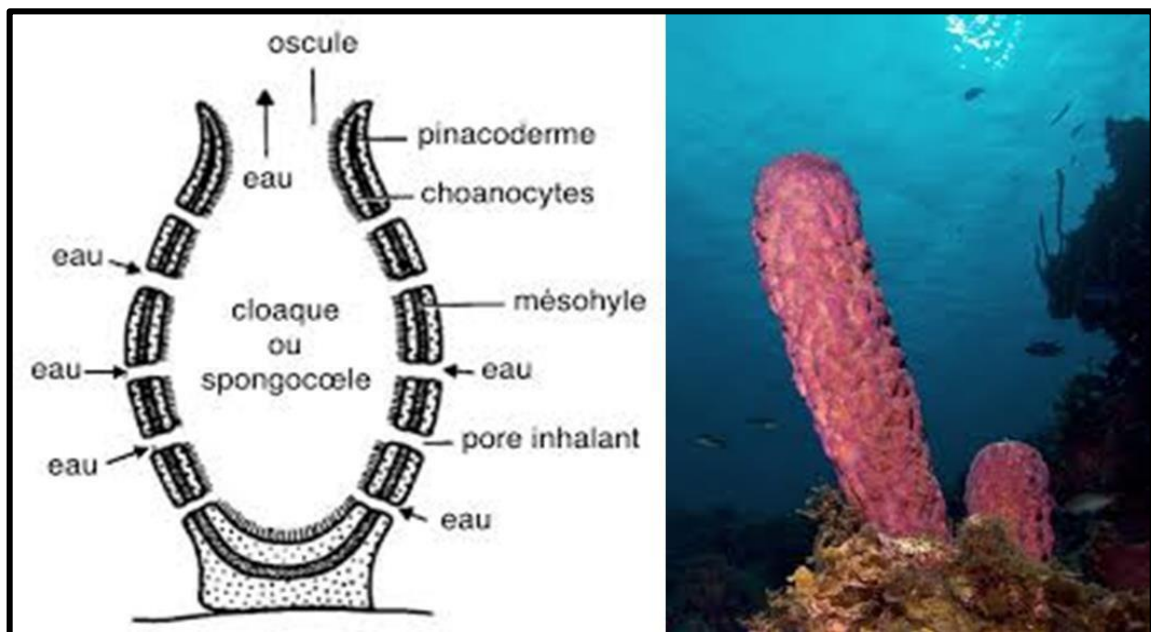


Figure 28 : Organisation générale d'un spongiaire.

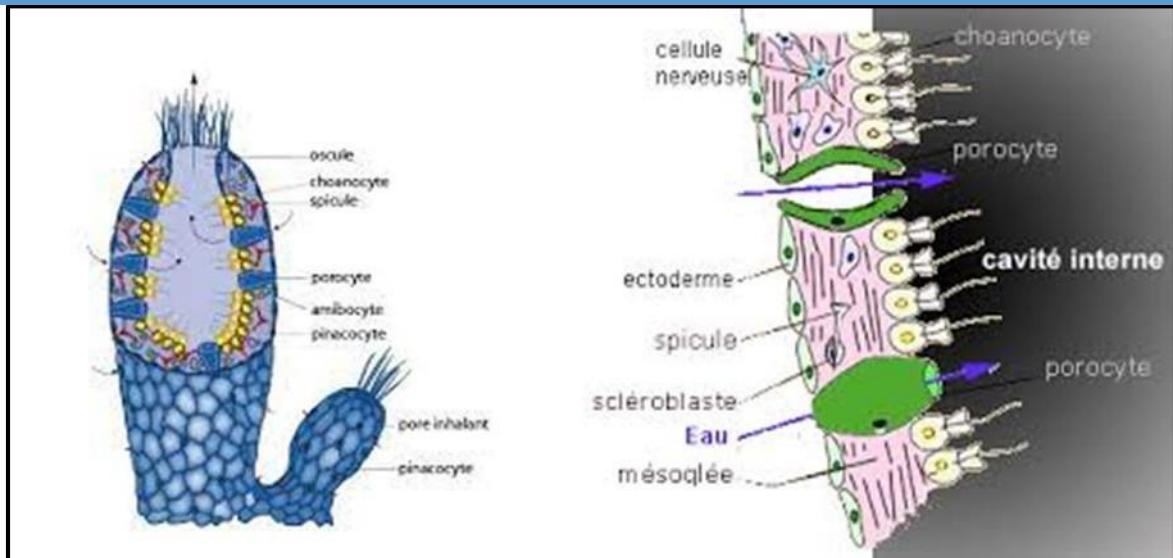


Figure 29 : Structure de la paroi d'un spongiaire.

3.1.2. Habitat et nutrition

Les éponges sont des organismes aquatiques, généralement sédentaires, qui vivent fixés sur un substrat. Bien que la majorité des espèces soient marines, certaines vivent en eaux douces. En tant qu'animaux filtreurs, les éponges se nourrissent de particules en suspension en attirant l'eau vers elles. L'eau pénètre par les pores inhalants, où les particules nutritives telles que les phytoplanctons, les bactéries et les débris organiques sont filtrées. Après la filtration, l'eau est expulsée par l'osculé. Les nutriments capturés sont ensuite distribués aux autres cellules par des cellules mobiles appelées amibocytes.

3.1.3. Reproduction des spongiaires

Les éponges peuvent se reproduire de deux manières : asexuée et sexuée.

❖ Reproduction asexuée

✚ **Bourgeoisement externe** : Les éponges peuvent se reproduire asexuellement par bourgeoisement. Les archéocytes, des cellules indifférenciées situées dans la mésoglée, peuvent former un bourgeon qui se développe en une nouvelle éponge.

- ✚ **Régénération** : Les éponges ont également la capacité de se régénérer. Si un fragment de leur corps se détache, il peut se reformer en une éponge complète.

❖ Reproduction sexuée

- ✚ **Hermaphrodisme et gonochorisme** : La plupart des éponges sont hermaphrodites, c'est-à-dire qu'un même individu possède les organes reproducteurs des deux sexes, ce qui est courant chez les éponges siliceuses. Cependant, certaines éponges calcaires sont gonochoriques, avec des individus distincts produisant les gamètes mâles et femelles.
- ✚ **Fécondation** : Les spermatozoïdes sont libérés par un individu et pénètrent dans une autre éponge. Les choanocytes capturent les spermatozoïdes, deviennent mobiles, et les transportent à travers la mésoglée jusqu'aux ovules. Après la fécondation, l'œuf se développe dans la mésoglée, puis se transforme en une larve flagellée qui est libérée dans l'environnement. Une fois fixée sur un support, cette larve se métamorphose en une éponge adulte.

3.1.4. Système digestif

Les éponges sont des microphages, c'est-à-dire qu'elles se nourrissent de petites particules organiques en les filtrant à travers leurs pores inhalants. Les particules alimentaires sont capturées par les choanocytes lorsque l'eau passe à travers leur collerette de microvillosités. Ces particules sont ensuite phagocytées par les choanocytes. La digestion intracellulaire peut se dérouler directement dans le choanocyte ou dans un amibocyte, une cellule à laquelle le choanocyte transfère le contenu de sa vacuole alimentaire. Les amibocytes jouent un rôle clé en stockant et en distribuant les nutriments digérés aux différents types cellulaires de l'éponge.

3.1.5. Systèmes respiratoire, circulatoire et excréteur

La majorité des cellules des éponges étant en contact direct avec l'eau environnante, les échanges se font principalement par simple diffusion grâce au courant d'eau qui traverse leur corps. Ce mécanisme permet :

- L'élimination des résidus non assimilables issus de la digestion,

- l'évacuation des déchets azotés produits par le catabolisme (principalement l'ammoniac, NH_3),
- les échanges respiratoires, en absorbant l'oxygène (O_2) et en rejetant le dioxyde de carbone (CO_2).

Chez les éponges d'eau douce, certaines cellules possèdent des vacuoles pulsatiles, qui jouent un rôle d'osmorégulation en stockant et en expulsant régulièrement l'eau accumulée dans les cellules.

3.1.6. Formes de spongiaires

Les éponges ne présentent généralement pas d'élément de symétrie, mais il y peut apparaître chez certaines espèces une symétrie axiale. La plupart des éponges n'ont pas de forme définie et apparaissent souvent sous forme de croûtes recouvrant divers substrats tels que les rochers, les coquilles de mollusques, les carapaces de crustacés, les thalles d'algues ou les squelettes de coraux. Certaines adoptent des formes plus distinctes, telles que des urnes, des amphores, des coupes ou même des arbustes.

Il existe trois types principaux de formes des éponges :

A. Type ascon

La forme la plus simple et la moins courante, ces éponges ressemblent à un vase, avec des choanocytes disposés en une couche continue. Cette structure tubulaire avec une grande cavité centrale limite la taille des éponges, car une cavité centrale trop volumineuse contiendrait une quantité d'eau que les choanocytes ne pourraient pas efficacement mobiliser. Ainsi, le type Ascon se trouve uniquement chez les éponges les plus petites et les plus simples.

B. Type sycon

La paroi de l'éponge est plissée, et les choanocytes sont organisés en corbeilles vibratiles. Au cours du développement, la paroi du corps de l'éponge peut se plisser, formant des évaginations en forme de doigts de gant où se regroupent les choanocytes et les canaux inhalants. La fusion des canaux inhalants, la couverture générale par les pinacocytes, ainsi que le développement du squelette dans le mésenchyme renforcent la cohésion structurelle de l'éponge.

C. Type leucon

Les choanocytes sont regroupés en vésicules dispersées dans le parenchyme. Les canaux contenant les choanocytes peuvent se plisser et se fragmenter en chambres sphériques de choanocytes. La cavité centrale, devenue proportionnellement plus petite, persiste sous forme de canaux menant à l'oscul, ou à plusieurs oscules dans les formes coloniales. Cette configuration optimise la filtration des particules alimentaires en augmentant la surface des choanocytes par rapport à la surface totale du corps [Figure 31].

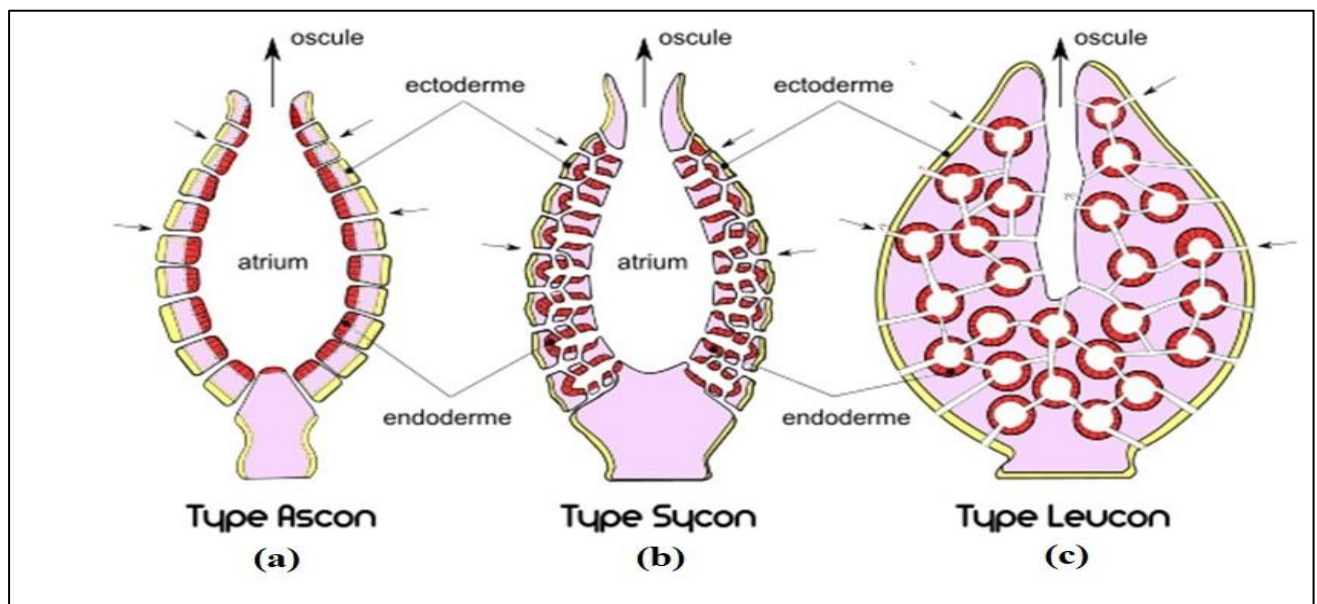


Figure30 : Les différentes formes de spongiaires.

3.1.7. Classification

Les spongiaires se divisent en quatre classes : Les calcarea, les hexactinellida, les desmonpogia et les homoscléromorpha.

A. Classe des calcarea

Les membres du groupe des Calcarea sont les seules éponges à avoir des spicules composés de carbonate de calcium. Ces spicules sont dépourvus de canaux axiaux creux. Les Calcarea sont apparus pour la première fois à la base du Cambrien inférieur et ont perduré jusqu'à nos jours, avec plus de 100 genres fossiles répertoriés [Figure 31].



Figure 31 : Classe des calcarea [*Callispongia vaginalis*].

Le squelette des éponges Calcarea est exclusivement constitué de spicules calcaires, souvent sous forme de calcite, et parfois sous forme de masse continue. Contrairement à d'autres éponges, elles ne présentent pas de différenciation entre microscières et mégascières, ce qui est une caractéristique distinctive de ce groupe. Les Calcarea varient de formes simples (type ascon) à des formes plus complexes (type leucon) avec corbeilles vibratiles et canaux inhalants/exhalants, en passant par des formes intermédiaires (type sycon) avec chambres vibratiles.

Les éponges calcaires sont exclusivement marines, la plupart vivant dans les 100 premiers mètres sous la surface, probablement en raison de la composition de leur squelette en carbonate de calcium. Cependant, certaines espèces peuvent être trouvées à des profondeurs abyssales.

B. Classe des hexactinellida

Les éponges hexactinellides, ou éponges de verre, appartiennent aux Métazoaires et, bien qu'ayant une organisation simple, elles peuvent prendre des formes complexes et parfois former des récifs. Comme les Demosponges, elles n'ont pas de véritables tissus et sont classées parmi les Parazoaires. Ces éponges ont également la capacité de vivre plus de 10 000 ans dans des conditions optimales.

Le squelette des éponges hexactinellides est constitué de spicules siliceux à six pointes, appelés hexactines, organisés en trois axes. Ces spicules se divisent en deux types : les mégascières, de grande taille, qui forment un réseau siliceux complexe sans matrice

protéique, et les microscières, plus petits. Le feuillet organique des hexactinellides est majoritairement composé d'un « syncytium » (cellules indépendantes reliant le squelette à l'éponge elle-même), ce qui les distingue par l'absence de pinacoderme et de choanoderme. Ce dernier est remplacé par un choanosyncytium, qui produit des structures similaires aux choanocytes [Figure 32].



Figure 32 : Classe des hexactinellida [*Euplectella aspergillum*].

Les éponges hexactinellides vivent principalement dans les eaux marines profondes, entre 200 et 6 000 mètres, ainsi que dans les eaux polaires. Bien qu'elles soient généralement associées à des eaux très froides, certaines espèces sont également présentes dans les zones tropicales. Par exemple, une dizaine d'espèces se trouvent dans la mer Ionienne, en Méditerranée, à environ 2 000 mètres de profondeur. Des éponges de verre ont également été découvertes dans des champs de nodules polymétalliques dans le nord-est du Pacifique, dans la Clipperton Fracture Zone.

C. Classe des demospongiae

Les démosponges (Demospongiae) sont des organismes métazoaires simples, sans organisation en feuillets ni véritables tissus, en raison de l'absence d'adhésion cellulaire. Également appelées silicosponges, elles appartiennent à l'embranchement des spongiaires (Porifera), qui est divisé en quatre classes : démosponges, hexactinellides, éponges calcaires et homoscléromorphes. Les données moléculaires ont confirmé que les homoscléromorphes constituent une classe distincte des démosponges. Ces éponges colonisent tous les environnements aquatiques, des abysses aux eaux douces. Les adultes sont fixés, tandis que les larves, mobiles, facilitent leur dissémination [Figure 33].



Figure 33 : Classe des Desmonpongiae : *Xetospongia testudinaria*.

Toutes les démosponges sont de type leucon et raghon, les formes les plus complexes d'éponges. Leur squelette, plus ou moins rigide, est composé de spicules tétractines siliceuses ou de spongine. Les mégasclères, de grande taille, sont essentielles à la structure de l'animal, tandis que les microsclères, plus petites, sont dispersées dans le parenchyme.

D. Classe des homoscleromorpha

Contrairement aux éponges calcaires et siliceuses, le squelette des démosponges varie selon les genres, pouvant être composé de carbonate de calcium (CaCO_3) ou de silice (SiO_2). Elles possèdent une lame basale avec des fibrilles de collagène, une caractéristique partagée avec les eumétazoaires mais absente chez les autres porifères. Bien qu'elles aient perdu les archéocytes, elles partagent des traits communs avec les autres éponges, tels que la présence de choanocytes pour la filtration de l'eau, une alimentation microphage, et l'absence de tube et d'orifice digestif, impliquant une digestion intracorporelle [Figure 34].

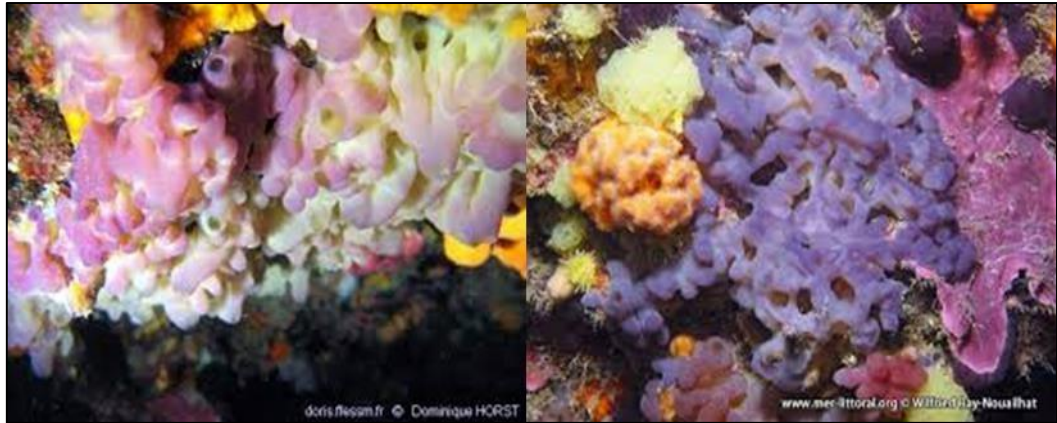


Figure 34 : Classe des homoscleromorpha : *Oscarella lobularis*

3.2. Embranchement Cnidaire

Les Cnidaire sont des animaux exclusivement aquatiques, avec 99 % des espèces vivant en milieu marin, comprenant les coraux, responsables de la formation de structures comme la Grande Barrière de corail en Australie, ainsi que les anémones de mer, qui abritent des espèces comme les poissons clowns malgré leur nature urticante. Parmi les Cnidaire marins, on trouve également les gorgones, les hydres, et les méduses. Seul 1 % des Cnidaire vivent en eau douce, représentés principalement par les hydres et les méduses dulcicoles.

On connaît environ 9 700 espèces vivantes de Cnidaire, et les espèces disparues ont laissé un riche patrimoine fossile. Le nom "Cnidaire" dérive du grec κνίδη (knidē), signifiant "ortie", en référence à leur capacité urticante due à des cellules venimeuses présentes dans leurs tissus. Les Cnidaire ont une organisation interne simple, avec un corps composé de deux feuillet embryonnaires, les classant parmi les diploblastiques. Leur anatomie présente une symétrie radiale, souvent de quatre ou six, avec une superposition de symétrie bilatérale.

Ces animaux jouent un rôle crucial dans la formation et la beauté des paysages sous-marins, attirant à la fois les plongeurs et les aquariophiles, pour qui l'élevage de Cnidaire est devenu un défi passionnant [Figure 35].



Figure 35 : Embranchement Cnidaires.

3.2.1. Morphologie générale et cycle de vie des

Le corps des cnidaires est constitué d'un simple sac entourant une cavité gastrique, avec une seule ouverture qui sert à la fois de bouche et d'anus, entourée de tentacules (parfois réduits). Les formes polypes et méduses partagent un plan d'organisation similaire, où l'« ombrelle » des méduses correspond au « pied » des formes fixées. Il existe même des formes intermédiaires, comme les Staurozoa, qui sont des méduses revenant à une vie fixe.

Les cnidaires présentent une symétrie radiale d'ordre pair (4 ou 6), influençant notamment le nombre de tentacules, ce qui leur donne une apparence de « soleils » entourés de rayons. Chez certains anthozoaires, une symétrie biradiale s'ajoute à cette symétrie radiale. Certains médusozoaires montrent une organisation bilatérale, ce qui a conduit certains chercheurs à suggérer que la symétrie bilatérale pourrait être la condition ancestrale de l'embranchement des Cnidaria. L'adulte ne diffère guère du stade embryonnaire.

De nombreuses espèces, telles que les coraux et divers hydrozoaires, forment des colonies de polypes, soit monomorphes, soit polymorphes, avec une division du travail entre zoïdes spécialisés et connectés, pouvant sécréter un exosquelette calcaire très dur [Figure 36].

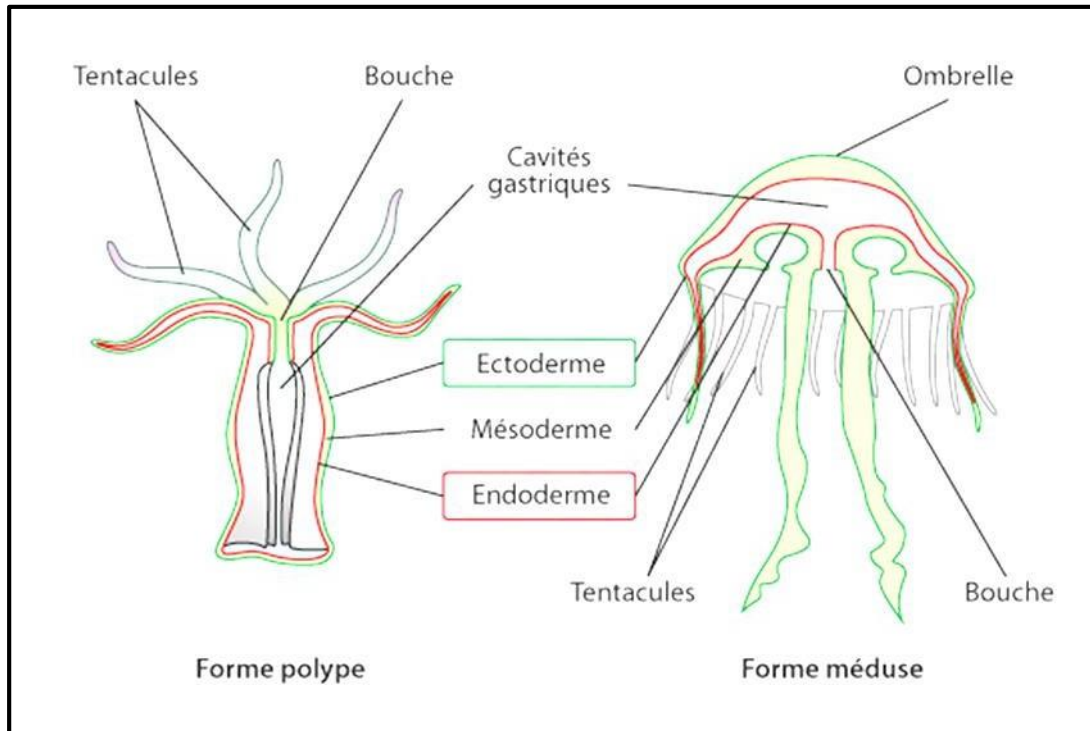


Figure 36 : Morphologie de cnidaires.

Egalement, suivant leur morphologie, soit solitaires ou coloniaux et suivant leur mode de vie, vivant fixés (benthiques) ou libres (pélagiques) on peut distinguer quatre grands groupes de Cnidaires [Figure 37].

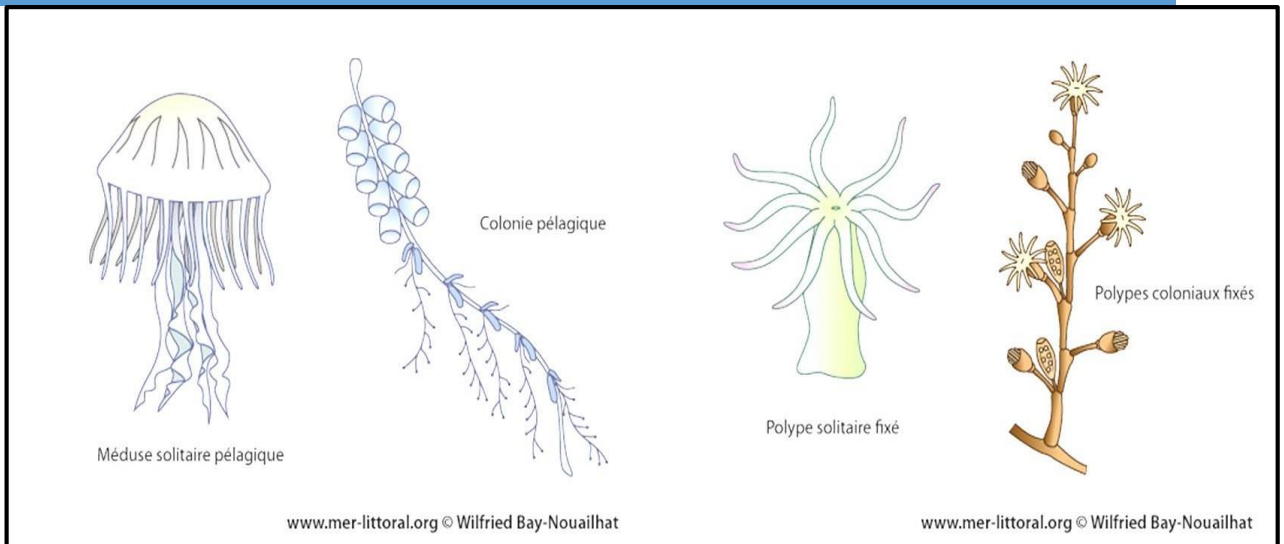


Figure 37 : Les formes de cnidaires.

❖ Anatomie

Les Cnidaires sont des animaux relativement simples, une simplicité qui leur permet de s'adapter à une grande diversité d'habitats marins et de se reproduire rapidement. Ils sont diploblastiques, ce qui signifie qu'ils possèdent un ectoderme et un endoderme.

La paroi des Cnidaires est composée de deux couches cellulaires : l'ectoderme, qui est externe, et l'endoderme, qui est interne. Entre ces deux couches se trouve une substance gélatineuse appelée mésoglée.

L'ectoderme est une couche monocellulaire continue composée de quatre types de cellules. Les cellules ectodermiques, qui forment la structure principale, sont hautes et produisent un mucus abondant. Les cellules sensorielles, étroites et dotées d'un prolongement sensitif, sont situées entre les cellules ectodermiques et reliées à un réseau de ramifications dans la mésoglée. Les cellules interstitielles, à caractère embryonnaire et totipotent, combler les espaces entre les autres cellules, régénèrent les cellules manquantes et réparent les blessures. Les cnidoblastes, particulièrement nombreux sur les tentacules et autour de la bouche, ont une fonction urticante.

L'endoderme contient trois types de cellules : les cellules endodermiques, qui forment la structure de base et sont riches en fibres musculaires ; les cellules sensorielles, hautes et

étroites, avec des ramifications dans la mésogée, qui déclenchent les réactions de l'animal ; et les cellules glandulaires, responsables de la digestion des proies.

La mésogée, bien qu'étant une substance non cellulaire, contient des cellules nerveuses rudimentaires appelées protoneurones, qui relient les cellules sensorielles de l'ectoderme et de l'endoderme [Figure 38].

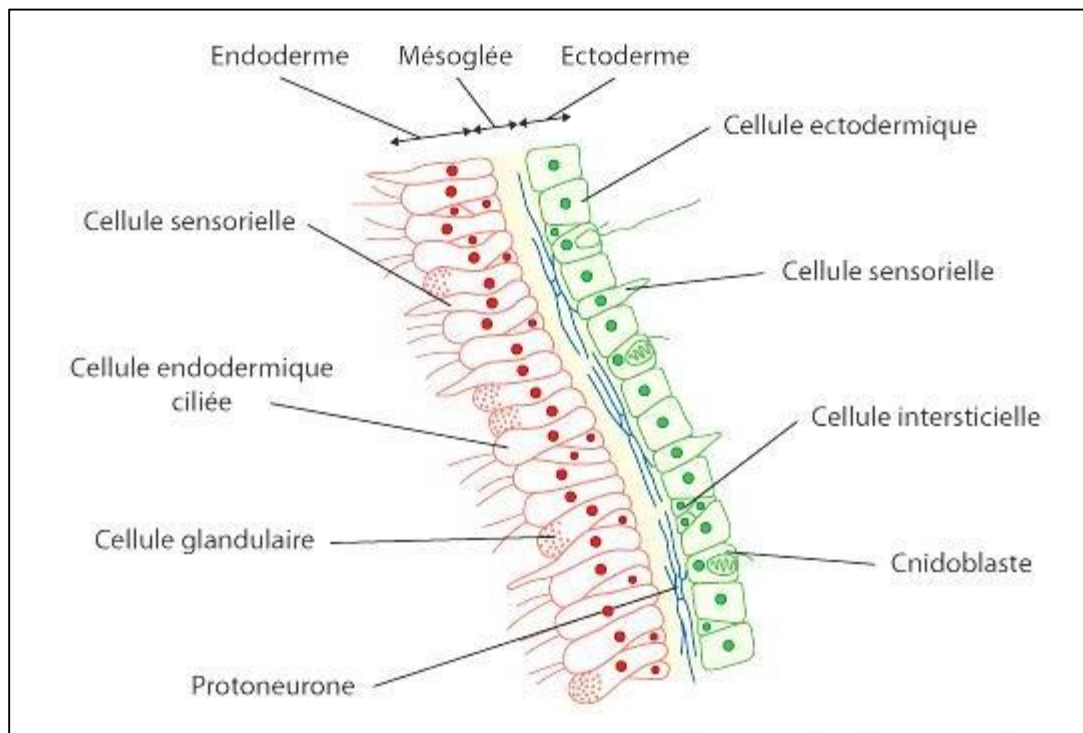


Figure 38 : Coupe de la paroi d'un Cnidaire.

❖ Reproduction

La reproduction des Cnidaires est marquée par une grande diversité de modes, incluant à la fois la reproduction sexuée et asexuée. La reproduction sexuée se fait par la production de gamètes et la fécondation dans l'eau, parfois accompagnée d'un cycle de vie complexe avec alternance de générations. La reproduction asexuée, quant à elle, peut se manifester par la fragmentation, le bourgeonnement ou la strobilation. Cette variété de mécanismes permet aux Cnidaires de se reproduire rapidement et d'étendre leur présence dans de nouveaux habitats.

- *La reproduction sexuée*

La reproduction sexuée chez les Cnidaires se déroule généralement selon deux modes : les individus peuvent être gonochoriques, c'est-à-dire distinctement mâles ou femelles, ou hermaphrodites, possédant à la fois des organes reproducteurs mâles et femelles. Lors de la reproduction, les gamètes (ovules et spermatozoïdes) sont libérés dans l'eau, où la fécondation se produit. Le zygote formé se développe en une larve planctonique, qui se fixe ensuite sur un substrat approprié pour se métamorphoser en un polype ou une méduse, selon le cycle de vie propre à l'espèce.

- *La reproduction asexuée*

Les cnidaires ont également la capacité de se reproduire de manière asexuée, ce qui leur permet de se multiplier rapidement et de coloniser de nouveaux habitats.

La reproduction asexuée chez les cnidaires peut se manifester de plusieurs manières :

- **Fragmentation** : Certaines espèces, telles que les anémones de mer et les coraux mous, peuvent se diviser en plusieurs fragments, chaque fragment ayant la capacité de se développer en un nouvel individu.
- **Bourgeonnement** : De nombreux cnidaires, comme les hydres et les coraux durs, produisent des bourgeons sur leur corps, qui se développent pour devenir de nouveaux individus.
- **Strobilation** : Certaines méduses, comme les scyphozoaires, se reproduisent en se segmentant transversalement, chaque segment pouvant évoluer en une nouvelle méduse.

3.2.2. Classification des cnidaires

Les Cnidaires se divisent en 5 classes : Les hydrozoaires , les cubozoaires , les scyphozoaires , les anthozoaires et les staurozoaires.

A. Classe des hydrozoaires

Les hydrozoaires constituent la classe la plus diversifiée des cnidaires, regroupant plus de 3 500 espèces, parmi lesquelles on trouve les hydres, les physalies, et certaines méduses. Leur corps a généralement une forme de colonne ou de sac, avec une bouche entourée de

tentacules à une extrémité. Bien qu'ils soient principalement marins, certaines espèces, comme l'hydre, vivent en eau douce.

Le cycle de vie des hydrozoaires est complexe et comporte généralement une phase de méduse ainsi qu'une phase de polype fixé. Certaines espèces, telles que la physalie, sont particulièrement connues pour leurs piqûres douloureuses et leurs longs tentacules [Figure 39].



Figure 39 : Classe des hydrozoaires : *Hydra viridis*.

B. Classe des scyphozoaires

Cette classe regroupe les méduses les plus connues, avec environ 200 espèces. Les scyphozoaires se distinguent par leur corps en forme de cloche ou d'ombrelle, entouré de tentacules pendants. Ces méduses sont généralement libres et nageuses. Leur cycle de vie est complexe, comprenant une phase de méduse et une phase de polype fixé. Certaines espèces, comme la méduse lune, peuvent atteindre des tailles impressionnantes, avec un diamètre d'ombrelle pouvant atteindre jusqu'à 70 cm [Figure 40].

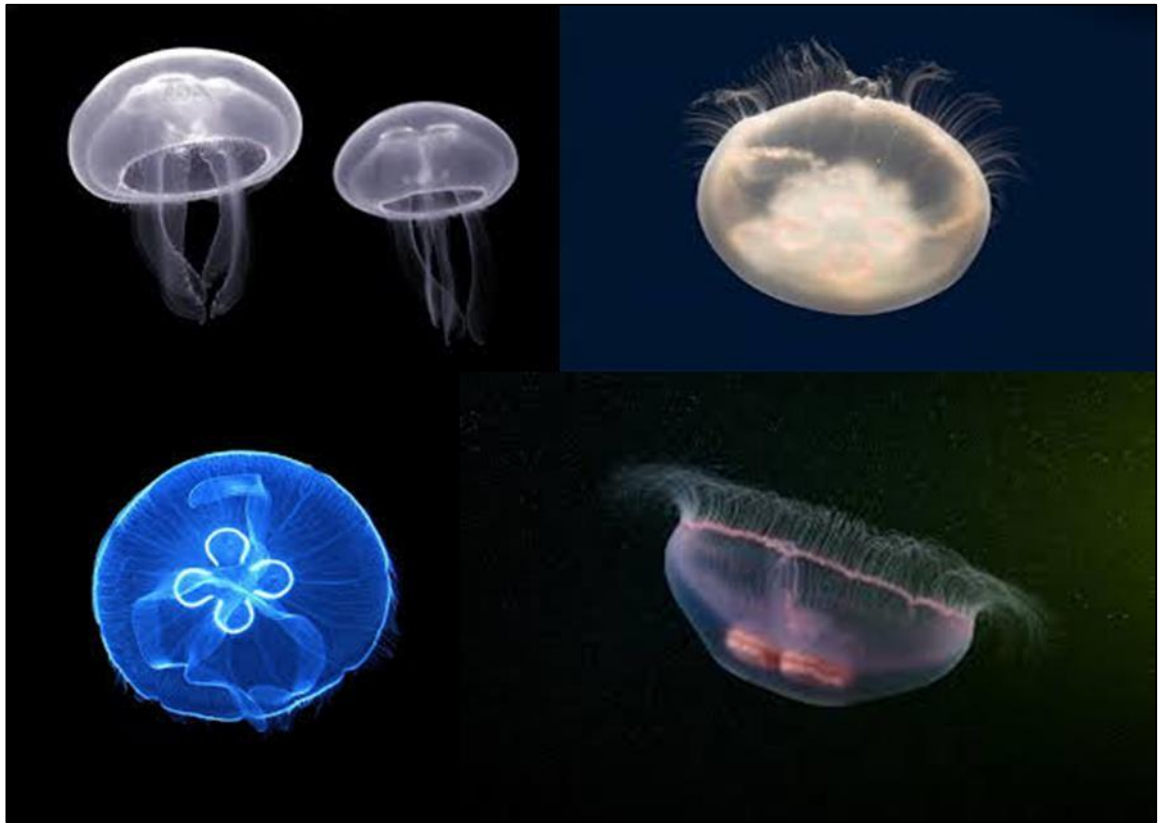


Figure 40 : Classe des scyphozoaires : *Aurelia aurita*.

C. Classe des cubozoaires

Les Cubozoaires, avec environ 50 espèces, regroupent des méduses marines très spécialisées, reconnaissables à leur corps en forme de boîte et à leurs tentacules courts mais extrêmement venimeux. Ils sont principalement présents dans les eaux tropicales et subtropicales, où ils se nourrissent de petits poissons et de crustacés. Dotés d'une vision sophistiquée grâce à leurs yeux complexes, les Cubozoaires peuvent détecter et poursuivre leurs proies. Certaines espèces, comme la méduse-boîte australienne, sont particulièrement dangereuses pour l'humain, leur venin pouvant entraîner une insuffisance cardiaque et la mort en quelques minutes [Figure 41].

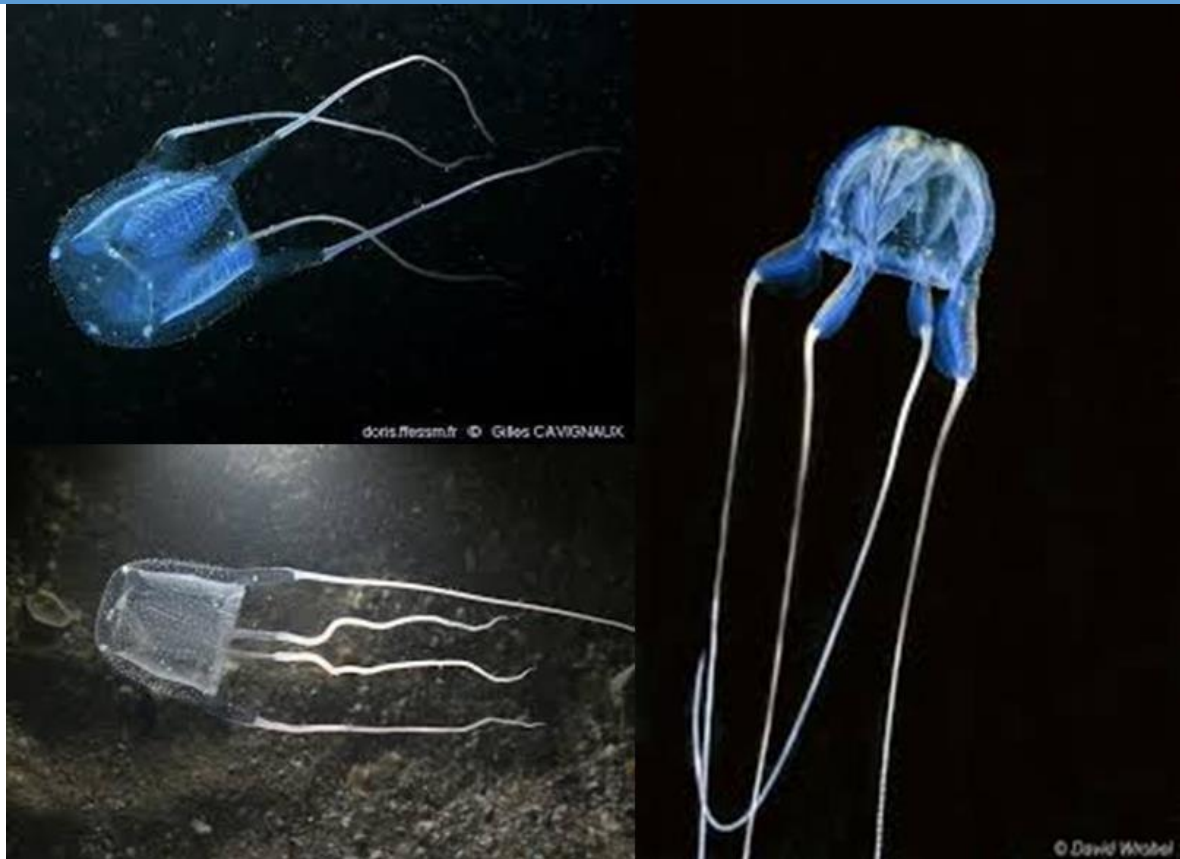


Figure 41 : Classe des cubozoaires : *Carybdea marsupialis*.

D. Classe des anthozoaires

Les Anthozoaires représentent la classe la plus diversifiée et la plus abondante des cnidaires, avec plus de 6 000 espèces. Exclusivement marins, ils incluent les coraux durs et mous, les anémones de mer, et les cérianthes. Leur corps, en forme de colonne ou de sac, est doté d'une bouche entourée d'une couronne de tentacules à une extrémité. Les Anthozoaires sont généralement fixés à un support, tel qu'un rocher ou un récif. Les coraux durs jouent un rôle crucial dans la formation des récifs coralliens, qui hébergent une grande biodiversité marine [Figure 42].



Figure 42 : Classe des anthozoaires : *Corallium rubrum*.

E. Classe des staurozoaires

La phase méduse est absente chez ces organismes, et leur développement commence par une larve planula benthique. Ils possèdent huit tentacules et se fixent sur un substrat à l'aide d'un disque adhésif. Leur reproduction est exclusivement sexuée, et ils sont strictement marins [Figure 43].



Figure 43 : Classe des staurozoaires : *Haliclystus octoradiatus*.

3.3. Embranchement Cténaires

Les Spongiaires, les plus primitifs des Métazoaires, marquent le début des animaux pluricellulaires, suivis par les Cœlentérés, qui incluent les Cnidaire et les Cténaires. Ces organismes diploblastiques, acœlomates, ont un corps composé de deux feuillets principaux, l'ectoderme et l'endoderme, séparés par une mésogée. Contrairement aux autres Métazoaires, ils n'ont pas de mésoderme ni de coelome. Les Cténaires, marins et souvent transparents, possèdent une cavité gastro-vasculaire, huit rangées de palettes ciliées pour la locomotion, des colloblastes, et un statocyste pour l'équilibre.

3.3.1. Morphologie générale

Les cténophores présentent des formes variées, telles que ovoïdes, rubanées, en poire ou en cloche. Ils sont translucides et gélatineux, souvent dotés de huit rangées de cils vibratiles à la base, formant des peignes locomoteurs, et la plupart possèdent deux grands tentacules. En raison de leur fragilité, ils sont difficiles à prélever et à étudier.

Le corps est mou et fragile et transparent, il a la forme d'un sac dont l'orifice a pour fonction de bouche et anus. Ils ont une double symétrie bilatérale (bilatériens). L'ectoderme des cténophores contient des cellules colloblastes, spécifiques à cet embranchement, qui servent à capturer les proies, ainsi que des palettes natatoires ou peignes pour la locomotion. Ils peuvent ou non avoir des tentacules. L'endoderme délimite une cavité gastrique, qui assure les fonctions digestives et respiratoires. La mésogée est plus épaisse que chez les cnidaires et renferme des cellules musculaires.

Les espèces courantes mesurent généralement quelques centimètres, bien que certaines, comme *Cestum veneris*, puissent atteindre jusqu'à 1,5 mètre.

Les cténophores (kteno = peigne ; phoros = porter) sont appelés méduses à peigne ou noix de mer (). Approximativement 90 espèces sont décrites actuellement. Toutes sont marines. La plupart des cténophores sont de forme sphérique mais certains groupes sont de forme aplatie et/ou allongée.

En résumé, les caractéristiques de cet embranchement sont :

- ✚ Organisation diploblastique ou peut-être triploblastique acœlomate (), de niveau tissulaire.
- ✚ Symétrie biradiaire.

- ✚ Mésoglée cellulaire entre tissus épidermique et gastrodermique.
- ✚ Cellules musculaires vraies différenciées l'intérieur de la mésoglée.
- ✚ Cavité gastrovasculaire.
- ✚ Système nerveux sous la forme d'un réseau.
- ✚ Structures adhésives appelées colloblastes.
- ✚ Huit rangées de bandes ciliaires ou peignes utilisées pour la locomotion [Figure 44].

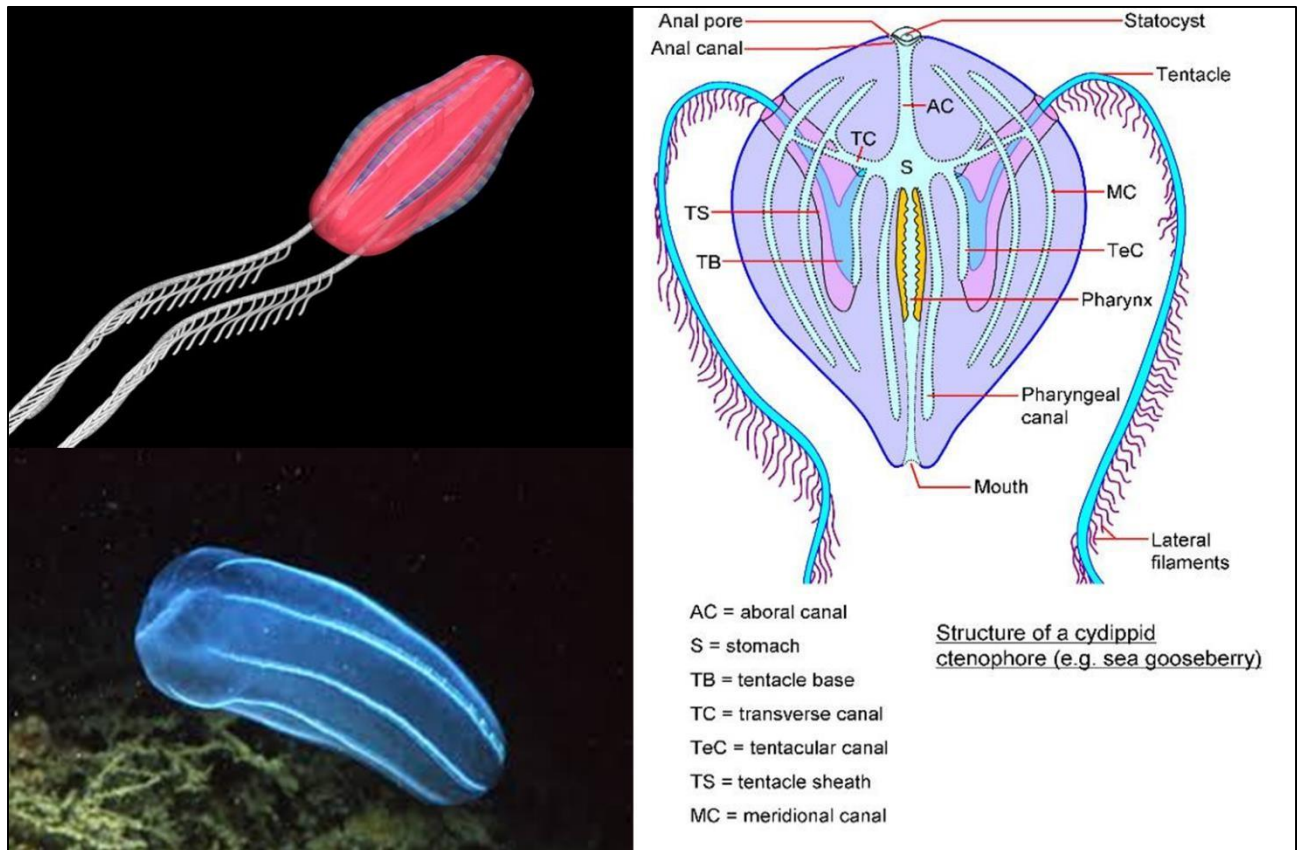


Figure 44 : Structure d'un cténaire (*Pleurobrachia* sp.).

3.3.2. Système digestif

Pendant longtemps, on a cru que les cténophores n'avaient pas de véritable « sortie » pour les déchets, pensant que ceux-ci étaient évacués uniquement par la bouche. Cependant, des vidéos récentes de 2016 ont révélé que certains cténophores marins, comme *Mnemiopsis leidyi* et *Pleurobrachia bachei*, évacuent les déchets par des pores distincts situés à l'arrière de l'animal, qui fonctionnent comme un anus. Ces découvertes, présentées lors de la conférence internationale Ctenopolooza à St. Augustine (Floride), ont été faites par William Browne de

l'Université de Miami, qui a montré que les cténophores éliminent les matières indigestes par ces pores et non par la bouche.

Des observations antérieures, comme celles de Carl Chun en 1880, avaient noté des excrétions par des pores situés à l'opposé de la bouche, mais les scientifiques avaient interprété ces excrétions comme des rejets par la bouche. En 1997, d'autres recherches avaient confirmé l'existence de ces pores pour l'évacuation des déchets, mais certains avaient encore considéré que la bouche était le principal orifice pour les excréments. Les expériences récentes ont mis en évidence que les cténophores utilisent ces pores pour éliminer les particules indigestes après la digestion.

Les cténophores semblent avoir évolué un système digestif indépendant des autres animaux ayant un seul orifice (comme les anémones de mer et les méduses). Cette évolution pourrait suggérer que les cténophores ont développé leurs propres structures digestives bien avant que d'autres animaux n'évoluent avec un anus. Il est également possible que les ancêtres des cténophores et d'autres cnidaires aient possédé des pores anaux, qui auraient été perdus au cours de l'évolution. William Browne poursuit ses recherches pour déterminer si les gènes impliqués dans la formation des pores chez les cténophores sont similaires à ceux des autres animaux lors de la formation de l'anus.

Les cils vibratiles dans les canaux digestifs des cténophores pourraient également jouer un rôle dans la régulation de la pression osmotique en ajustant le flux d'eau à l'intérieur et à l'extérieur de la mésoglée, particulièrement lorsqu'ils passent d'un milieu marin à de l'eau saumâtre côtière.

3.3.3. Locomotion

La majorité des cténophores se laissent porter par les courants marins, mais ils sont également capables de nager, parfois à une vitesse relativement rapide, en utilisant les battements de leurs peignes locomoteurs. Ils sont les plus grands animaux à se déplacer grâce à des cils vibratiles, atteignant une vitesse allant jusqu'à 5 cm/s. Le mouvement synchronisé des peignes permet une nage fluide et sans à-coups, un avantage évolutif, car cette méthode de déplacement ne produit pas de vibrations susceptibles d'alerter les proies ou les prédateurs.

Certaines espèces utilisent les battements de leurs lobes oraux pour nager lorsqu'elles fuient, tandis que d'autres se déplacent en ondulant leur corps ou en rampant, semblable à des vers plats.

3.3.4. Alimentation

Les Ctenophora sont des prédateurs qui capturent leurs proies, telles que le plancton, les larves marines, les vers, les crustacés (comme les copépodes), les cnidaires, d'autres Ctenophora, et parfois de petits poissons, à l'aide de leurs tentacules. Ces tentacules ramènent les proies vers la bouche où elles sont ensuite ingérées. La nourriture progresse vers l'estomac grâce à un mucus ou à l'action de cils vibratiles internes présents dans le système digestif.

Tous les cténophores ne possèdent pas de tentacules. Par exemple, le *Beroe* ingère directement des proies gélatineuses, tandis que d'autres espèces utilisent des lobes musculieux autour de leur bouche pour capturer leurs proies.

3.3.5. Reproduction

À l'exception de certaines espèces de l'ordre des Platyctenida, où la reproduction peut être asexuée, la reproduction chez les cténophores est principalement sexuée. La majorité des cténophores sont hermaphrodites, possédant à la fois des organes reproducteurs mâles et femelles situés sous les cténidies, près des canaux de la mésogée. Une exception notable est le genre *Ocyropsis* de l'ordre des Lobata, qui a des sexes séparés.

À maturité, les gamètes sont libérés dans la mer par de petites ouvertures appelées gonopores, sous l'influence de certaines conditions lumineuses. La fécondation est externe et l'autofécondation est rare. Cependant, *Tjalfiella tristoma*, une espèce de l'ordre des Platyctenida, est vivipare, avec des larves qui se développent à l'intérieur du parent.

Un phénomène particulier, la dissogonie, se manifeste chez certains cténophores, où il y a deux phases de maturité sexuelle : une chez la larve et une autre chez l'adulte, ce qui soulève la question de la néoténie.

Certaines espèces, comme *Beroe ovata*, possèdent une méthode unique pour éviter la polyspermie : après la pénétration de plusieurs spermatozoïdes dans l'ovule, le pronucleus femelle choisit un pronucleus mâle avec lequel il fusionnera, rejetant les autres pour éviter la consanguinité.

Après la fécondation, l'œuf subit une segmentation totale et inégale, marquée dès la deuxième division par l'apparition de la symétrie radiaire. L'embryon se développe en une larve

cydippide nageuse, qui ressemble souvent à l'adulte, notamment chez les ordres Lobata et Platyctenida, où la distinction morphologique entre larve et adulte est minime.

Les cténophores sont monomorphes, ne présentant jamais de stade fixé. Leur fragilité rend difficile l'étude de leur mode de vie, et leur durée de vie reste inconnue, bien que leur capacité à se reproduire précocement suggère un cycle de génération court.

3.3.6. Classification

C'est un groupe encore assez mal connu qui pose un problème dans la classification phylogénétique. Cependant, Les cténophores se divisent traditionnellement en deux classes principales, qui sont les *Tentaculata* et les *Nuda*. Les *Tentaculata* regroupent les cténophores qui possèdent des tentacules, utilisés pour la capture de proies, tandis que les *Nuda* incluent ceux qui en sont dépourvus, comme les espèces du genre *Beroe* [Figure 45] [Figure 46].



Figure 45 : Classe des tentacula [*Pleurobrachia pileus*].

Figure 46 : Classe des nuda [*Beroe ovata*].

3.4. Embranchement Plathelminthes

Le terme "Plathelminthes", introduit par A. Schneider en 1873, désigne un embranchement de métazoaires triploblastiques, caractérisés par la présence d'un troisième feuillet embryonnaire situé entre l'ectoderme et l'endoderme. Bien qu'ils soient dépourvus de coelome, les Plathelminthes sont proches des mollusques et des annélides.

Ces animaux à symétrie bilatérale, souvent aplatis dorsoventralement, présentent des formes variées allant du subcylindrique au rubané, avec des tailles pouvant être microscopiques ou atteindre jusqu'à douze mètres pour certaines espèces géantes. Leur corps est rempli de parenchyme mésodermique sans cavité générale, ce qui en fait des acœlomates. Le système nerveux, généralement non intra-épidermique, comprend un cerveau et deux chaînes longitudinales connectées par des plexus.

Le tube digestif, souvent ramifié, possède un seul orifice—la bouche, située ventralement ou subventralement—et un pharynx souvent particulier, bien que certains Plathelminthes n'aient pas de tube digestif. Ils n'ont ni appareil respiratoire ni circulatoire. Leur

appareil excréteur est composé de protonéphridies à ampoules vibratiles, tandis que l'appareil génital hermaphrodite et complexe permet une reproduction à la fois sexuée et asexuée [Figure 47].



Figure 47 : Embranchement des Plathelminthes.

3.4.1. Morphologie générale

Les Plathelminthes, également connus sous le nom de vers plats, incluent de nombreuses espèces parasites. Ce groupe regroupe principalement des animaux allongés sans appendices. Leur épiderme est souvent cilié, facilitant leur déplacement, tandis que des muscles longitudinaux et circulaires permettent leur locomotion. Leurs organes sont soutenus par un tissu mésenchymateux, remplaçant le coelome. Leur système digestif simple n'a qu'une seule ouverture, et certaines espèces parasites absorbent les nutriments directement à travers leur tégument. Dotés d'un système nerveux primitif, ils ont une remarquable capacité de régénération, pouvant reformer des parties du corps amputées, y compris la tête.

Parmi les représentants les plus connus de la classe des Turbellaria (qui inclut des vers plats non exclusivement parasites), on trouve les planaires, des vers libres, nageurs ou rampants, dont le corps peut mesurer moins d'un millimètre d'épaisseur. Ces vers présentent une symétrie

bilatérale et, bien qu'ils aient autrefois été classés parmi les acéломates (animaux dépourvus de cavité générale comme le cœlome ou le pseudocœlome), il est désormais admis que l'absence de cœlome résulte d'une régression évolutive. La seule trace de leur ancien cœlome est le mésenchyme. Les Plathelminthes possèdent un tube digestif avec une seule ouverture, qui sert à la fois de bouche et d'anus, et leur appareil génital est complexe. Ils se reproduisent de manière sexuée [les planaires étant hermaphrodites avec une reproduction croisée] ou par scissiparité. Leur corps, extrêmement fragile, a une capacité remarquable de régénération : ils peuvent reformer une partie amputée, y compris la tête, qui contient un réseau organisé de neurones. Ces animaux sont étonnamment complexes, capables d'apprentissage et de mémoire, avec des souvenirs qui restent intacts même après la régénération de la tête.

En résumé :

- L'appareil digestif ; Il y a la présence d'un sac digestif
- L'appareil excréteur est caractéristique = Protonephridies formées de cellules vibratiles.
- L'appareil respiratoire est indifférencié
- L'appareil circulatoire Il n'y a pas non plus d'appareil circulatoire
- L'appareil génital est complexe chez ces animaux fondamentalement Hermaphrodites (Des animaux qui portent les deux appareils génitaux mâle et femelle ou même temps) [Figure 48].

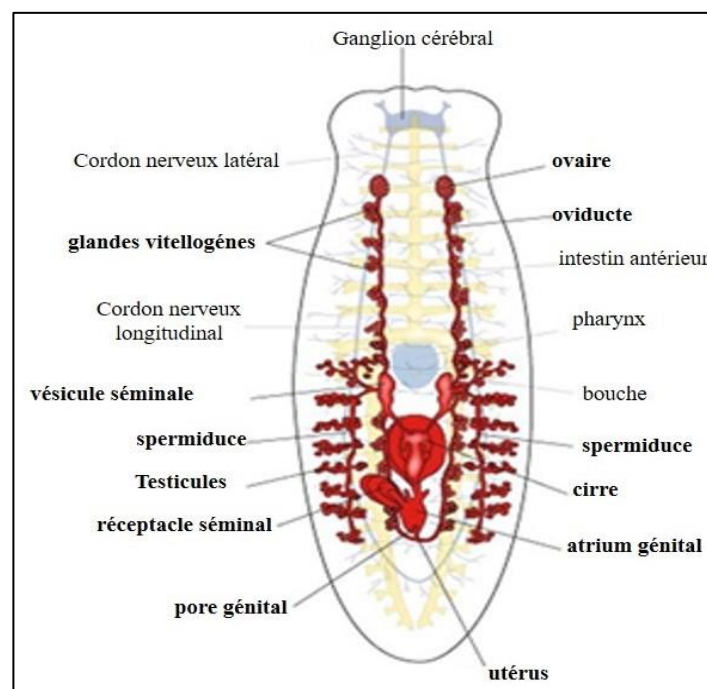


Figure 48 : Organisation d'un plathelminthe.

3.4.2. Classification

Les plathelminthes se divisent en 4 classes ; turbellariés ou rhabditophora , monogènes , trématodes et cestodes. Les **Turbellaria** regroupent principalement des vers plats non parasites, souvent libres et aquatiques, comme les planaires. Les **Monogenea** sont des parasites principalement des poissons, avec un cycle de vie simple sans hôte intermédiaire. Les **Trematoda**, ou douves, sont des parasites internes avec des cycles de vie complexes impliquant souvent plusieurs hôtes. Enfin, les **Cestoda**, ou ténias, sont des parasites intestinaux segmentés, généralement dépourvus de tube digestif, qui absorbent les nutriments directement à travers leur tégument.

A. Classe des turbellariés ou rhabditophora

Les Turbellariés, une classe de plathelminthes principalement non parasites, se trouvent majoritairement dans des environnements aquatiques, bien que certaines espèces soient terrestres. Leur corps aplati et cilié leur permet de se déplacer en glissant ou en nageant. Leurs systèmes digestif et génital sont simples, avec une seule ouverture servant de bouche et d'anus, et un pharynx extensible pour capturer leur nourriture. Les planaires, comme *Dugesia lugubris*, sont particulièrement remarquables pour leur capacité de régénération. Ils possèdent des organes sensoriels, tels que des yeux et des tentacules, à l'extrémité antérieure, avec une bouche située au milieu du corps et un orifice génital postérieur.

Les téguments

Les téguments des planaires facilitent deux types de mouvements distincts :

- a - L'épiderme cilié, en conjonction avec des cellules mucigènes, permet le glissement sur les surfaces.
- b - Les muscles circulaires, longitudinaux et dorso-ventraux sont responsables des ondulations nécessaires à la nage.

Cette classe se divise en quatre ordres :

- ✓ *Ordre Acoelles*: l'intestin n'existe pas, le pharynx débouche directement dans le parenchyme. Exemple : *Convoluta roscoffensis* : sable des plages en symbiose avec les algues
- ✓ *Ordre Rhabdocoelles* : l'intestin est simple et rectiligne. Marins et dulcicoles (dans l'eau douce).

- ✓ *Ordre Triclades* : l'intestin est constitué de trois branches très ramifiées.
Exemple : *Dugesia lugubris*
- ✓ *Ordre Polyclades* : l'intestin est constitué de très nombreuses branches rayonnent à partir du pharynx [Figure 49].

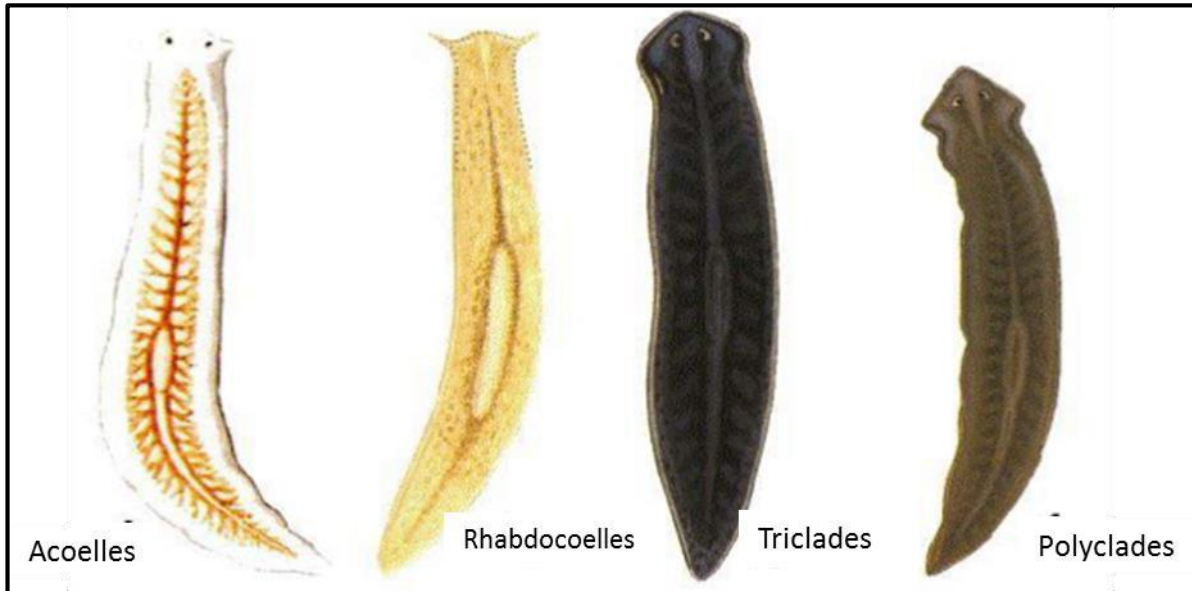


Figure 49 : Les quatre ordres de la classe des Turbellariés.

B. Classe des monogènes

Les Monogènes (Monogenea) constituent une classe de vers plats parasites. Ces ectoparasites vivent principalement sur les branchies, les nageoires et parfois la cavité buccale des poissons, bien que quelques espèces se trouvent dans la vessie urinaire de certains amphibiens (comme les *Polystomatidae*) ou sur l'œil des hippopotames (*Oculotrema hippopotami*).

Leur taille varie de 0,5 à 6 mm, certaines espèces atteignant jusqu'à 30 mm. On estime qu'il existe environ 25 000 espèces de monogènes, correspondant approximativement au nombre d'espèces de **téléostéens** qu'ils parasitent [Figure 50].

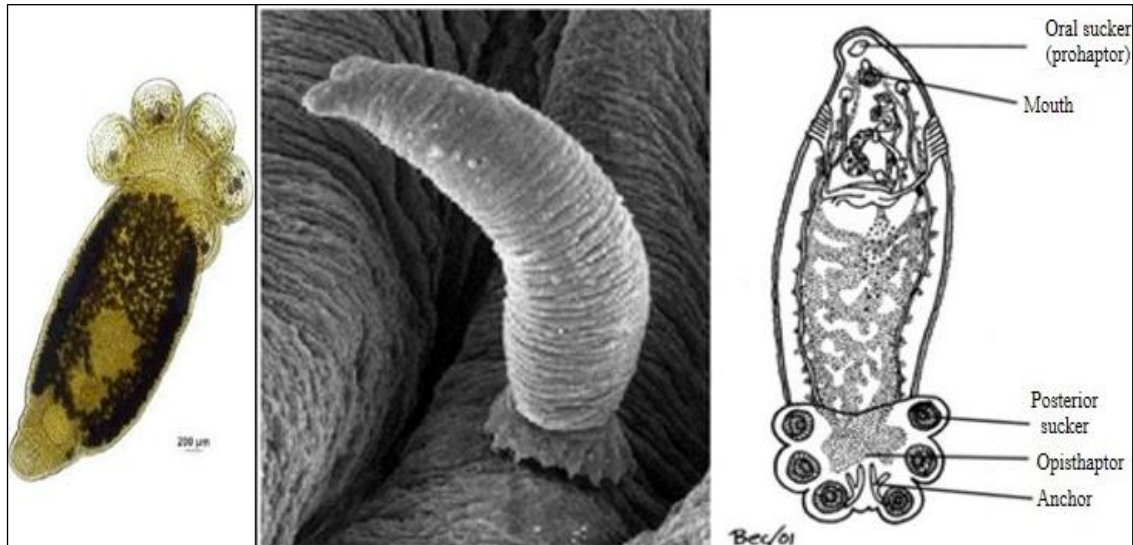


Figure 50 : Classe des monogènes.

❖ Cycle de vie

Les monogènes présentent un cycle de vie direct (œuf, larve, adulte) sur un hôte unique, bien que certains genres comme *Gyrodactylus* dérogent à cette règle. Les adultes pondent des œufs qui se fixent généralement sur les branchies de l'hôte ou se dispersent dans le milieu environnant. Ces œufs éclosent rapidement, généralement en quelques jours, donnant naissance à des larves ciliées qui cherchent activement un hôte. Une fois fixées, souvent à la base des branchies, les larves se transforment en adultes. Les adultes se fixent généralement à l'extrémité des branchies, ce qui facilite l'expulsion des œufs.

❖ Reproduction

Les monogènes sont principalement hermaphrodites, mais l'auto-fécondation est rare. La forme des organes reproducteurs, en particulier chez les monoopisthocotylés, est souvent utilisée comme critère pour la spéciation.

❖ Appareil reproducteur

L'appareil reproducteur mâle comprend un testicule, qui peut être soit compact soit folliculaire, bien que certaines espèces possèdent plusieurs testicules. Le canal déférent se termine dans un organe copulateur souvent complexe avec des structures sclérifiées. Les spermatozoïdes sont de longues cellules filiformes, contenant un ou deux axonèmes parallèles, selon les familles.

L'appareil reproducteur femelle est constitué d'un seul ovaire, entouré de glandes vitellogènes très développées, à l'exception de quelques espèces vivipares. Le vagin, lorsqu'il est présent, s'ouvre sur l'une ou l'autre face du corps, voire sur le côté latéral, et certaines espèces possèdent un vagin dédoublé.

C. Classe des Trématodes

Les trématodes (Trematoda) constituent une classe au sein du phylum des plathelminthes, entièrement composée de vers parasites. Historiquement, les trématodes étaient divisés en deux ordres (ou sous-classes), les Monogenea et les Digenea, en fonction du nombre d'hôtes intermédiaires impliqués dans leur cycle de vie (monoxène ou hétéroxène). Toutefois, la taxonomie des plathelminthes est en pleine révision, et les Monogenea sont désormais classifiés comme une classe distincte au sein du phylum.

En pathologie humaine, on distingue deux groupes majeurs de trématodes :

- Les douves hermaphrodites, telles que la douve de Chine et les douves du foie.
- Les schistosomes (ou bilharzies), qui présentent des sexes séparés.

❖ Cycle de vie

Après la reproduction sexuée dans l'hôte final, les trématodes produisent des œufs qui sont évacués dans le milieu extérieur par les fèces. Ces œufs éclosent lorsque les conditions environnementales sont favorables, généralement dans des environnements humides près de points d'eau. Les œufs donnent naissance à des larves appelées miracidia, recouvertes de cils qui leur permettent de se déplacer dans l'eau. Ces larves pénètrent dans un hôte intermédiaire, souvent un mollusque d'eau douce, où elles se reproduisent asexuellement. Elles forment plusieurs sporocystes, qui se développent en rédies, puis en cercaires flagellées. Ce processus, connu sous le nom de polyembryonie, est également observé chez certains végétaux, insectes, et exceptionnellement chez des vertébrés comme le tatou à neuf bandes (*Dasypus novemcinctus*).

Une fois libérées dans le milieu extérieur, les cercaires flagellées peuvent pénétrer dans l'hôte définitif, comme l'humain pour certains schistosomes, ou se fixer sur des végétaux sous forme de métacercaires (du grec *métâ*, signifiant "changement", et *kerkos*, signifiant "queue").

Les métacercaires sont ensuite ingérées par l'hôte définitif, par exemple, un mouton dans le cas de la grande douve du foie [Figure 51].



Figure 51 : Classe des trématodes [*Schistosoma mansoni*], mâle et femelle à gauche, femelle seule au milieu, mâle à droite.

Les trématodes se divisent en deux ordres :

- ❖ **Ordre des Polystomiens** : Ce sont des ectoparasites de vertébrés poïkilothermes, principalement localisés dans la vessie de leurs hôtes. Ils sont des parasites monoxènes. Un exemple est *Polystomum integerrimum*, qui parasite la vessie des grenouilles.
- ❖ **Ordre des Distomiens** : Ces trématodes parasitent des vertébrés supérieurs et ont un cycle de développement hétéroxène. Quelques exemples notables incluent :
 - ✚ *Fasciola hepatica* (grande douve du foie)
 - ✚ *Dicrocoelium dendriticum* (petite douve du foie), qui a un cycle complexe impliquant trois hôtes : un escargot, une fourmi et un mouton
 - ✚ *Schistosoma haematobium*, responsable de l'hématurie d'Égypte
 - ✚ *Schistosoma mansoni*, qui provoque la bilharziose intestinale et utilise un planorbe (escargot) comme hôte intermédiaire.

D. Classe des cestoides

Les cestodes, ou Cestoda, sont une classe de plathelminthes parasites dont les adultes résident dans le tube digestif des vertébrés. Ils se caractérisent par un scolex rond, équipé de crochets et de ventouses, qui leur permet de se fixer à la paroi intestinale de leur hôte. À l'arrière du scolex, le corps se compose d'un cou en croissance et d'un strobile, constitué de segments appelés proglottis (immatures, matures et gravides) contenant de nombreux œufs. Les cestodes, dépourvus de tube digestif proprement dit, absorbent les nutriments prédigérés par leur hôte par osmose. Les cestodes présentent un corps plat et segmenté avec une apparence rubanée. Ils sont adaptés au parasitisme, possédant des organes spécialisés pour se fixer à leur hôte et l'absence de tube digestif, ce qui les rend des mésoparasites. Les segments de leur corps sont chargés de produire des œufs, pouvant atteindre jusqu'à 5000 par jour. Les segments mâles sont situés à l'avant, tandis que les segments femelles se trouvent à l'arrière, permettant l'autofécondation par repliement. Leur cycle de vie ne comporte quasiment pas de phase libre.

Les cestodes se divisent en deux groupes principaux : les Cyclophyllidiens, qui possèdent quatre ventouses sur leur scolex, et les Bothriocéphales, dont le scolex porte des pseudobothridies longitudinales fonctionnant comme des ventouses. Les bothriocéphales peuvent infecter divers animaux, dont les phoques, les renards, les ours, les porcs, les chiens, les chats et les humains. Leur cycle de vie passe par un crustacé, le cyclops, consommé par d'autres poissons, contaminant ainsi les humains qui consomment du poisson cru ou insuffisamment cuit. Les cestodes, ayant perdu leur tube digestif, se nourrissent directement via leur hôte. Les bothriocéphales peuvent causer des troubles similaires à ceux des ténias, notamment une carence en vitamine B12 entraînant une anémie mégalocytaire [Figure 52].



Figure 52 : Classe des cestoides.

3.5. Embranchement Némathelminthes

Ce sont des métazoaires triploblastiques et pseudo cœlomates. L'embranchement des Némathelminthes regroupe une vaste diversité de vers ronds, souvent appelés nématodes. Ces organismes se distinguent par leur corps cylindrique, non segmenté, et leur cuticule épaisse, qui leur confère une grande résistance.

Les nématodes sont ubiquitaires, présents dans presque tous les habitats, de l'eau douce aux sols, et même en tant que parasites chez les plantes, les animaux et les humains. Cet embranchement inclut des espèces libres et parasitaires, certaines jouant un rôle crucial dans les écosystèmes, tandis que d'autres sont responsables de maladies graves chez les organismes hôtes. La simplicité apparente de leur morphologie cache une grande complexité fonctionnelle, notamment dans leur système nerveux et reproducteur, ce qui en fait un sujet d'étude important en biologie et en médecine.

3.5.1. Morphologie générale

Les Némathelminthes, ou « vers ronds », sont des eumétazoaires triploblastiques pseudocœlomates, comprenant les Nématodes, Nématomorphes, Priapulins, Loricifères, et

Kinorhynques. Ils appartiennent aux Protostomiens ecdysozoaires, avec une affinité particulière entre les Nématodes et les Nématomorphes, proches des Panarthropodes. Leur cavité coelomique dérive du blastocèle, et ils possèdent un tube digestif simple, incluant une bouche, un pharynx, un œsophage, un intestin, et un anus ventral. Leur système nerveux se compose d'un anneau périœsophagien et de deux cordons nerveux, tandis que leur système excréteur est principalement protonéphridien [Figure 53].

Les némathelminthes sont gonochoriques, avec des femelles souvent plus grandes que les mâles, ces derniers ayant un organe de copulation à l'extrémité postérieure. Protégés par une cuticule résistante, leur croissance se fait par des mues successives. Dépourvus de systèmes circulatoire et respiratoire, ils respirent par la peau. Certaines espèces sont des parasites, comme *Ascaris*, *Dracunculus*, ou *Onchocerca*.

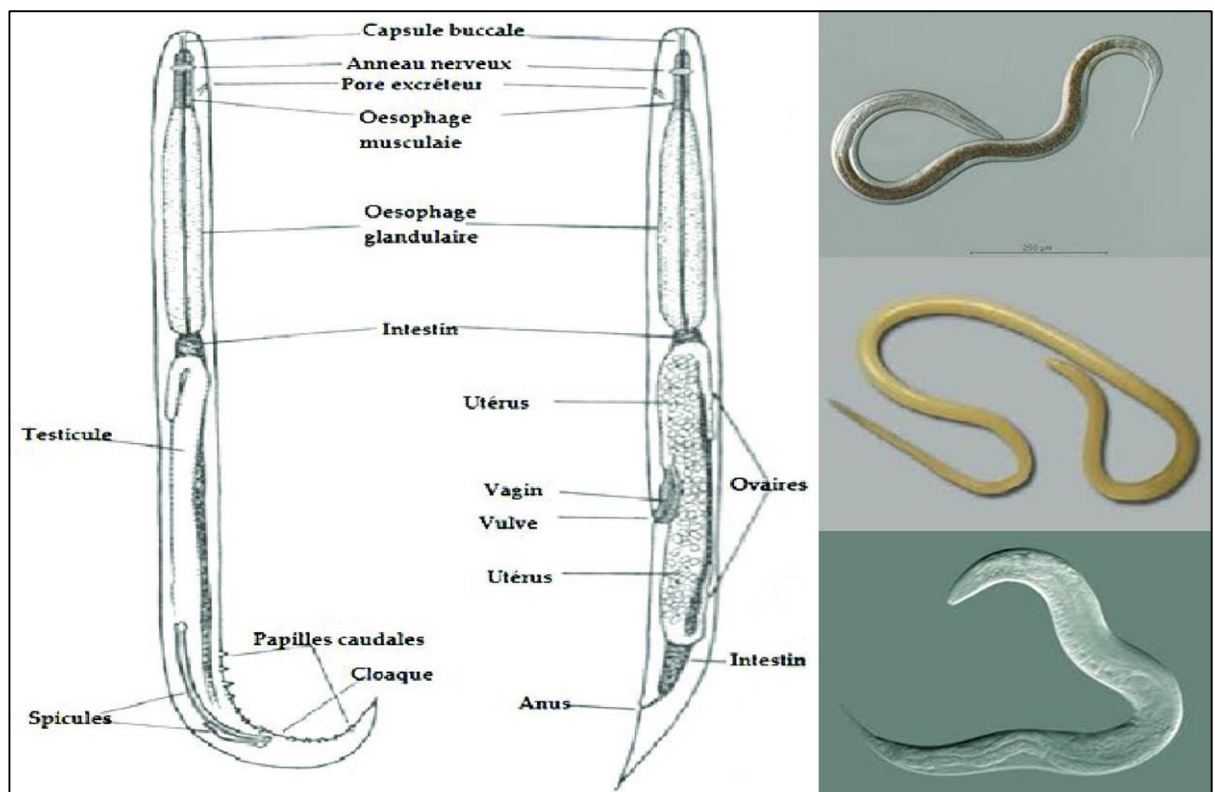


Figure 53 : Organisation générale d'un némathelminthe [mâle et femelle].

3.5.2. Nutrition et reproduction

Les nématodes présentent une grande diversité alimentaire : les formes libres peuvent être carnivores, herbivores, omnivores ou saprophages, tandis que les formes parasites se nourrissent de sang ou de fluides tissulaires de leurs hôtes. Ne possédant pas d'appareil respiratoire, leurs échanges gazeux se font à travers la paroi du corps.

La reproduction des nématodes est sexuée, avec un dimorphisme sexuel marqué : les femelles sont généralement plus longues que les mâles, qui ont souvent une extrémité postérieure enroulée. La fécondation est interne, et les œufs fertilisés progressent vers le gonopore grâce aux forces hydrostatiques du pseudocoelome. L'éclosion des œufs produit des larves, qui subissent quatre mues avant d'atteindre l'âge adulte, bien que certaines mues puissent se dérouler avant l'éclosion.

3.5.3. Classification

Les nématodes se divisent en deux classes : les scécernentes et les adénopores.

A. Classe des scécernentes

Les animaux vermiformes de la classe Secernentea sont des nématodes non segmentés. Ce groupe, le plus vaste parmi les nématodes, se distingue par la présence de nombreuses papilles caudales et un système excréteur doté de canaux latéraux. Comme tous les nématodes, ils ne possèdent ni système circulatoire ni respiratoire.

Les Secernentea sont également appelés phasmidiens en raison de la présence de phasmes, structures glandulaires situées à l'extrémité postérieure, associées à la fonction sensorielle et excrétoire. Cette classe comprend de nombreuses espèces parasites importantes, notamment : *Ascaris*, *Enterobius*, *Rhabditis*, *Tubatrix*, *Necator*, *Wichereria*..

B. Classe des adénopores

Ils sont caractérisés par l'absence des phasmides ; la plupart des espèces appartenant à cette classe sont libres. Exemple : *Diocotophyme*, *Trichinella*, *Trichuris*.

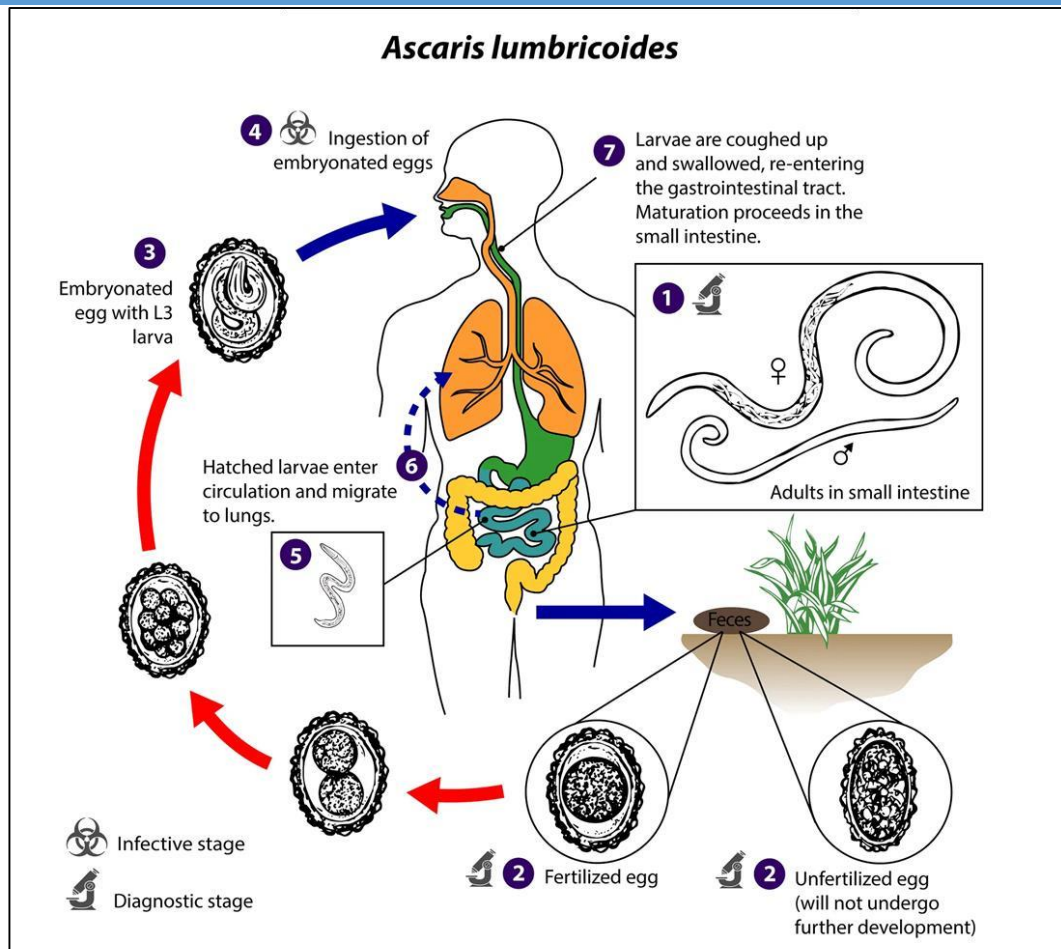
3.5.4. Quelques nématodes parasites de l'homme

Ascaris lumbricoides

L'*Ascaris lumbricoides* est un nématode parasite intestinal, appartenant au genre des ascarides, responsable de l'ascaridiose, une maladie exclusivement humaine. C'est le plus grand des nématodes et l'infection parasitaire la plus courante chez l'homme. Ce ver est présent dans le monde entier, mais il est particulièrement fréquent dans les régions tropicales et subtropicales, ainsi que dans les zones où l'hygiène est insuffisante.

Il est important de ne pas confondre ce parasite avec les ascarides des chiens et des chats, tels que *Toxocara canis* chez le chien et *Toxocara cati* chez le chat, qui provoquent la toxocarose, une infection pouvant également affecter l'homme.

Les adultes d'*Ascaris* s'accouplent et pondent des œufs dans l'intestin humain. La femelle peut produire un grand nombre d'œufs, qui sont ensuite expulsés avec les selles. Un premier stade larvaire se développe rapidement à l'intérieur de l'œuf, mue, et se transforme en un second stade larvaire, qui est la forme infestante. L'infection se produit par ingestion d'œufs embryonnés présents sur des aliments contaminés ou par des mains non lavées. Une fois ingérés, les larves sont libérées dans l'intestin grêle après digestion de la coque de l'œuf, traversent la paroi intestinale et atteignent le foie via le système porte. Elles y séjournent trois à quatre jours, puis migrent vers le cœur droit par la circulation veineuse et continuent leur voyage vers les poumons via les artères pulmonaires. Dans les poumons, les larves muent deux fois et y restent environ une semaine avant de remonter vers la trachée, puis de rejoindre la cavité buccopharyngée, où elles retournent finalement dans le tube digestif. La maturité sexuelle est atteinte dans l'intestin, où les vers s'accouplent, et les œufs apparaissent dans les selles [Figure 54].

Figure 54 : Cycle évolutif de l'espèce *Ascaris lumbricoides*.

3.6. Embranchement Annélides

Les Annélides (Annelida) forment un embranchement d'animaux protostomiens segmentés et de forme allongée, communément appelés « vers ». Ils sont principalement aquatiques, vivant soit en milieu marin, comme la gravette, soit en eau douce, comme la sangsue, bien que certaines espèces, telles que les lombrics, habitent le sol.

3.6.1. Morphologie générale

Les annélides sont des animaux segmentés dont le corps est constitué de plusieurs segments successifs, appelés métamères. Ces segments peuvent être identiques, une condition connue sous le nom de métamérie homonome, ou différents, appelée métamérie hétéronome. Trois segments, le prostomium (portant les organes sensoriels), le péristomium (portant la bouche), et le pygidium (portant l'anus), ne sont pas considérés comme de véritables métamères.

car ils ne possèdent pas de sacs coelomiques. Les échiuriens et les sipunculiens sont les seuls annélides dépourvus de segmentation.

Chaque métamère contient deux sacs coelomiques remplis de liquide, jouant le rôle de squelette hydrostatique pour protéger les organes internes. Ils sont également impliqués dans le transport des hormones et des gamètes chez certaines espèces. L'excrétion des déchets azotés est assurée par des métanéphridies, qui sont des structures métamérisées connectant les segments entre eux.

Tous les organes des annélides sont métamérisés, sauf ceux dérivés de l'endoderme, comme le tube digestif et les vaisseaux sanguins. Le tube digestif est divisé en plusieurs parties distinctes : cavité buccale, pharynx, jabot, gésier et intestin. Chez les clitellates, l'intestin supérieur forme une gouttière appelée typhlosolis, augmentant la surface d'échange avec les vaisseaux sanguins.

Le système circulatoire des annélides est fermé, avec un sang rouge circulant dans des vaisseaux et des artères, reliés à l'avant du corps par des « cœurs latéraux » contractiles. L'hémoglobine, qui donne sa couleur rouge au sang, circule librement plutôt que dans des globules rouges comme chez les mammifères.

Les annélides possèdent un système nerveux ventral, qualifié d'hyponeurien. Leur épiderme est composé d'une seule couche de cellules et est recouvert d'une cuticule de chitine.

Chez les annélides, quelques structures révèlent encore leur organisation segmentée d'origine, comme l'appareil excréteur, constitué de néphridies, le système circulatoire fermé avec ses vaisseaux sanguins longitudinaux dorsal et ventral, ainsi que le système nerveux, représenté par une chaîne ganglionnaire ventrale [Figure 55] [Figure 56].

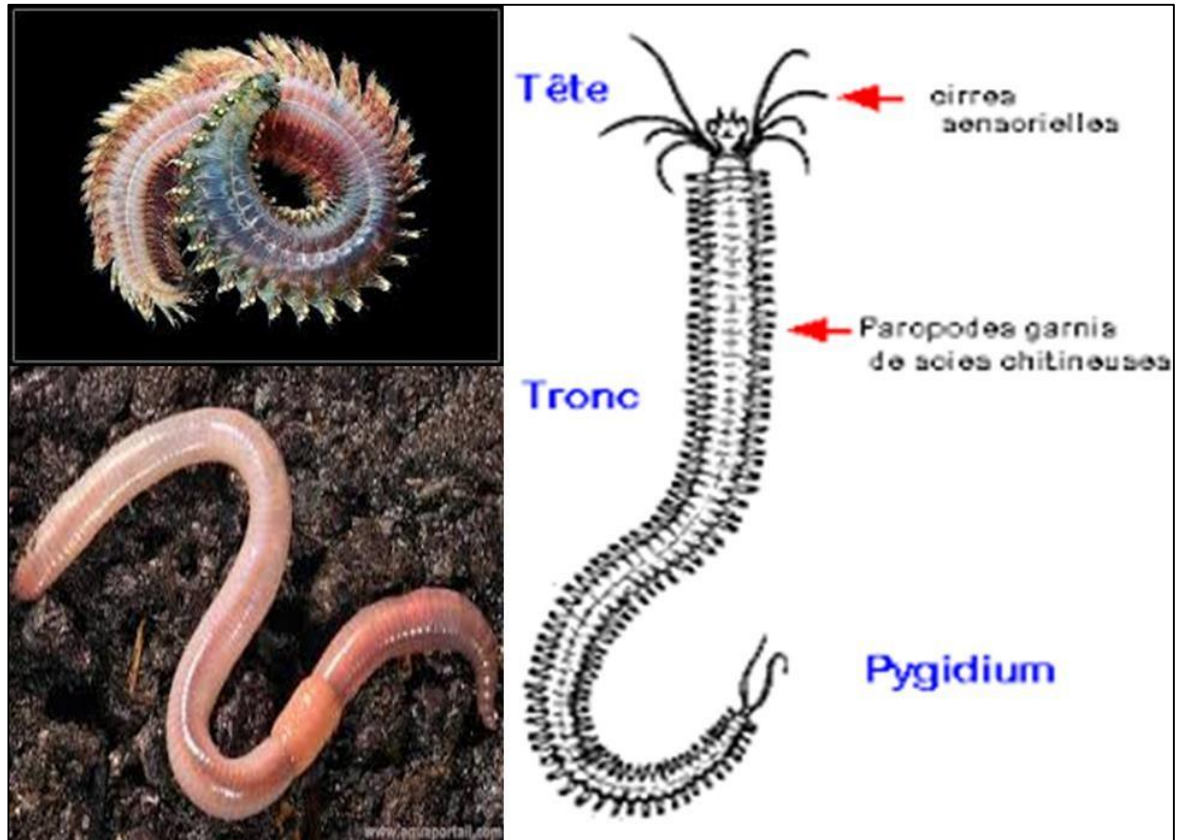


Figure 55 : Organisation générale d'un annélide.

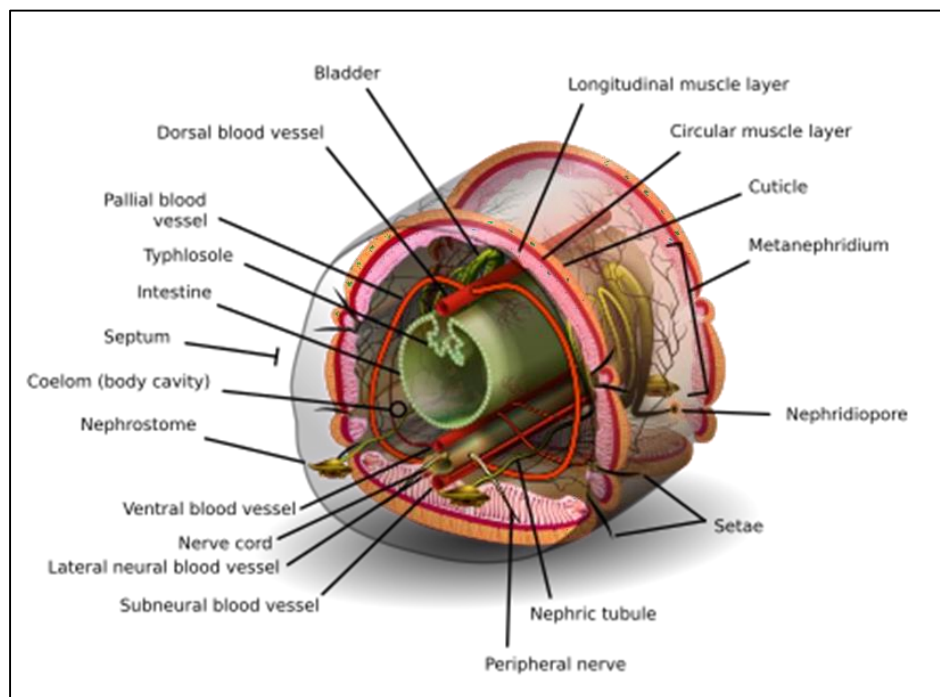


Figure 56 : Coupe d'un métamère d'un annélide.

3.6.2. Mode de vie

La majorité des annélides aquatiques se déplacent à l'aide de parapodes. Certains sont sédentaires et construisent des tubes avec de la vase ou du sable où ils vivent. Les annélides terrestres, comme les vers de terre, se déplacent par contractions musculaires, tandis que les sangsues utilisent des ventouses pour se mouvoir.

3.6.3. Reproduction

La plupart des annélides sont gonochoriques, à l'exception des clitellates qui sont hermaphrodites. Certains polychètes, comme les syllidiens, peuvent se reproduire de manière asexuée en se divisant en deux et en régénérant les parties manquantes.

3.6.4. Classification

Les annélides se divisent en deux classes différentes : Les polychètes et les clitellates.

A. Classe des polychètes

Ces annélides sont très répandus dans les environnements marins, avec environ 10 000 espèces de polychètes recensées. Leur taille varie généralement entre 5 et 10 cm de long. Leur corps segmenté présente des expansions latérales, appelées parapodes, situées au niveau du tronc. Ces parapodes sont dotés de nombreuses soies chitineuses, ou chètes, qui participent à leur locomotion.

❖ Morphologie générale

Les polychètes de la classe Polychaeta sont des vers annélides, principalement marins ou estuariens, qui se divisent en deux groupes : les espèces sédentaires, fixées au substrat, et les espèces errantes, capables de se déplacer. Contrairement aux clitellates, ils n'ont pas de clitellum.

Chaque segment du corps des polychètes possède une paire de parapodes charnus, garnis de soies faites de chitine, ce qui leur vaut parfois le nom de « vers poilus ». On recense plus de 10 000 espèces dans cette classe, incluant des représentants courants tels que les vers arénicoles et les néréis.

Les polychètes sont des organismes robustes et largement répandus, habitant les océans à toutes les profondeurs, des eaux glaciales abyssales aux zones proches des sources

hydrothermales. Bien que la majorité des polychètes soient marins, seulement 168 espèces sont connues en eau douce.

Ces vers segmentés mesurent généralement moins de 10 cm, bien que certaines espèces atteignent 3 mètres. Ils peuvent présenter des couleurs vives, être irisés ou luminescents. Chaque segment porte des parapodes vascularisés, utilisés pour la locomotion et, chez de nombreuses espèces, pour la respiration.

Les polychètes, bien que suivant un modèle général, montrent une grande diversité de formes corporelles et d'adaptations écologiques, allant des espèces rampantes comme les néréides aux nageurs pélagiques, en passant par les vers tubicoles. Certains, comme le ver de feu, sont urticants.

La tête, ou prostomium, est bien développée, souvent équipée de deux à quatre paires d'yeux (parfois aveugles), des antennes, des palpes tentaculaires, et des chimiorécepteurs qui aident à la recherche de nourriture [Figure 57].

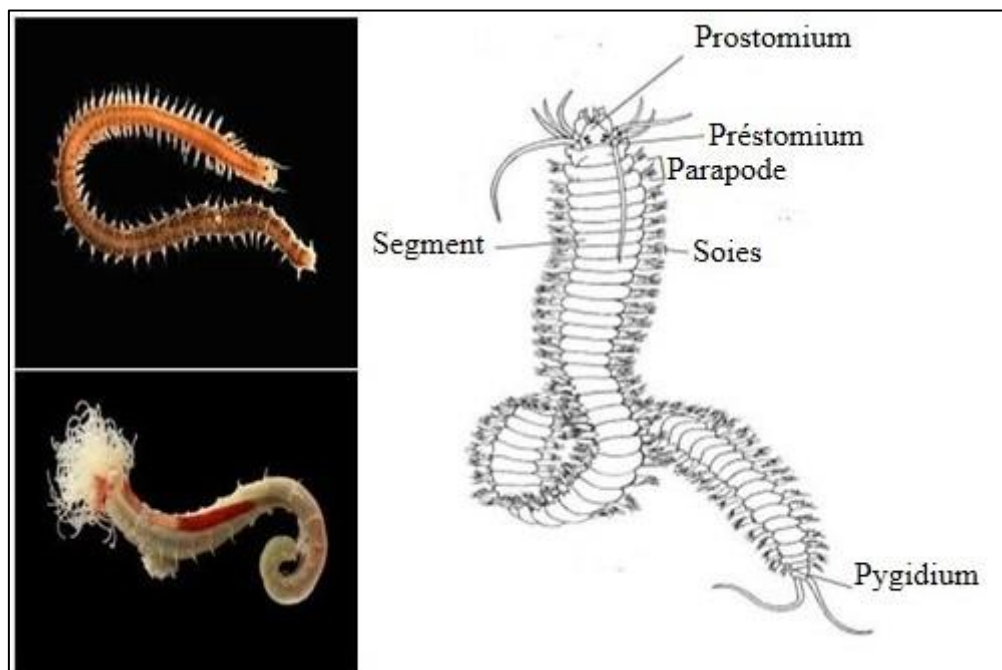


Figure 57 : Morphologie des polychètes.

❖ Anatomie

Les polychètes sont des vers annélides caractérisés par leur apparence classique, avec un corps tubulaire traversé par un tube digestif. Ce dernier est généralement simple et linéaire, allant de la bouche à l'anus, mais peut varier selon les espèces. Chez certaines espèces, il forme

des anses ou des boucles, comme chez les ampharétiens, les térébelliens, les flabelligériens, et les pectinaires.

Le tube digestif est divisé en plusieurs régions avec des structures histologiques différentes, souvent nommées pharynx, proventricule, ventricule, gésier, estomac, et intestin. Chez les polychètes errants et certains sédentaires, le tube digestif commence par une trompe exsertile, parfois volumineuse, qui peut être garnie de papilles molles ou de denticules cornés. Certaines espèces possèdent également une ou plusieurs paires de mâchoires cornées de formes complexes.

❖ Reproduction

La reproduction des polychètes est généralement bisexuée, avec des sexes séparés mais sans dimorphisme sexuel visible, à quelques exceptions près comme chez *Platynereis dumerilii* et *Hesione sicula*. Chez les polychètes errants (Errantia), la reproduction est marquée par un phénomène appelé "épitoquie", où le corps s'allonge puis éclate, libérant les gamètes dans l'environnement.

Certaines espèces de polychètes ont été étudiées plus en détail en laboratoire, notamment pour comprendre leur reproduction et leur croissance. Ces études sont souvent menées pour des applications pratiques, comme l'utilisation des polychètes comme bioindicateurs de la toxicité des sédiments ou pour les élever à des fins commerciales, notamment comme appâts vivants pour la pêche. Ces recherches ont également exploré la périodicité de la reproduction de ces espèces, souvent liée au cycle lunaire.

B. Classe des clitellates

Les Clitellates (Clitellata) constituent une classe de l'embranchement des vers annélides, contenant la plupart des espèces de vers de la terre ferme, reconnaissables à leur clitellum, une structure en forme de collier qui joue un rôle crucial dans la reproduction en formant un cocon. Cette classe regroupe environ 8 000 espèces. Contrairement aux polychètes, les clitellates n'ont pas de parapodes, et leur tête est moins développée. La plupart des clitellates vivent sur terre, en eau douce ou dans les océans. Les clitellates se divisent en deux sous classes : les oligochètes et les achètes.

➤ **Sous classe des oligochètes**

Ce sont des annélides terrestres ou dulçaquicoles exceptionnellement marins. Portent des soies mais peu nombreuses insérées au niveau du tronc. Le prostomium porte que la bouche et ne porte aucun organe sensoriel. Elle renferme environ 3000 espèces [Figure 59].

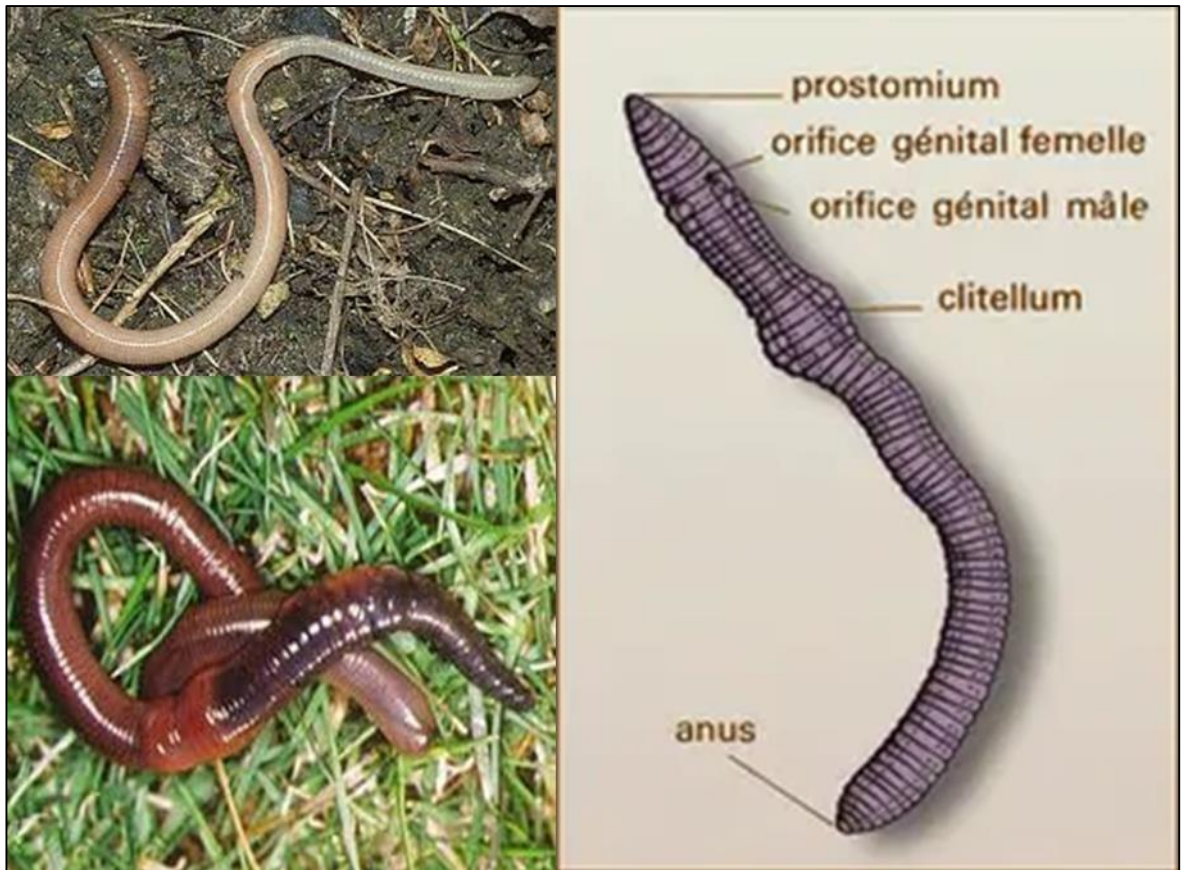


Figure 58 : Morphologie des oligochètes.

Les oligochètes sont des nécrophages qui se nourrissent principalement de la végétation en décomposition. Les échanges gazeux se font à travers la cuticule, et leur appareil circulatoire est similaire à celui des polychètes, avec du sang contenant de l'hémoglobine.

La reproduction des oligochètes peut être sexuée ou asexuée. Dans la reproduction sexuée, les oligochètes sont des organismes monoïques protérandriques, ce qui signifie que les spermatozoïdes mûrissent avant les ovules, rendant l'autofécondation impossible et nécessitant un partenaire sexuel pour la fécondation.

Pendant la copulation, les deux oligochètes s'alignent en position opposée (tête-bêche), de sorte que les orifices des réceptacles séminaux de l'un soient en face du clitellum de l'autre. Les vers, ainsi enlacés, échangent leurs spermatozoïdes. Après leur séparation, chaque ver, désormais porteur de sperme étranger, pourra féconder ses propres ovocytes lors de la ponte. En phase de maturité femelle, le clitellum sécrète un manchon annulaire dans lequel le ver dépose d'abord les spermatozoïdes, puis les ovules. Ce manchon se transforme ensuite en cocon, où les œufs fécondés se développent immédiatement, avec un développement direct.

La reproduction asexuée, fréquente chez les oligochètes limicoles, se fait par scissiparité, c'est-à-dire par division transversale du ver, suivie de la régénération des parties manquantes.

➤ **Sous classes des achètes**

Les achètes ou les hirudinea, ou sangsues, sont une sous-classe d'annélides comprenant environ 650 espèces hermaphrodites de vers annelés, mesurant entre 1 et 20 cm de longueur. Principalement d'eau douce, certaines vivent en estuaire ou en eau marine, et quelques-unes ont un cycle de vie partiellement terrestre. Environ 300 espèces sont des parasites temporaires hématophages, se nourrissant de sang ou d'hémolymphe d'animaux marins, terrestres ou d'eau douce. Les sangsues ont été utilisées en médecine depuis plus de 2 000 ans, mais leur diversité et répartition sont encore mal connues dans de nombreux pays. Un inventaire national en France a été initié en 2015 pour mieux comprendre ces espèces.

Nutrition

Les achètes se nourrissent principalement de déchets organiques, d'invertébrés aquatiques, ou, pour les espèces les plus connues, de sang de vertébrés. Ces dernières se fixent sur leur hôte à l'aide de ventouses, perforent les tissus à l'aide de mâchoires dentées, et aspirent le sang.

Respiration et Circulation

Les échanges gazeux se font à travers la paroi du corps. Le système circulatoire comprend un vaisseau dorsal où le sang circule d'arrière en avant. L'hémoglobine est présente chez les achètes à mâchoires, tandis que ceux sans mâchoires utilisent le liquide coelomique pour remplir cette fonction.

✚ Reproduction

Les achètes, monoïques, se reproduisent exclusivement par voie sexuée. Ils possèdent deux ovaires et plusieurs testicules. Lors de la maturité mâle, les spermatozoïdes sont transférés et les œufs déposés, comme chez les oligochètes. Le transfert des spermatozoïdes peut impliquer un pénis ou, chez certaines espèces, des spermatophores qui sont implantés dans le tégument du partenaire. Au printemps, le clitellum se développe, sécrète un manchon muqueux où les ovules fécondés sont déposés, formant un cocon qui se ferme et protège les œufs jusqu'à leur maturation au printemps suivant. Il n'y a pas de stade larvaire, et les jeunes sont directement matures [Figure 59].

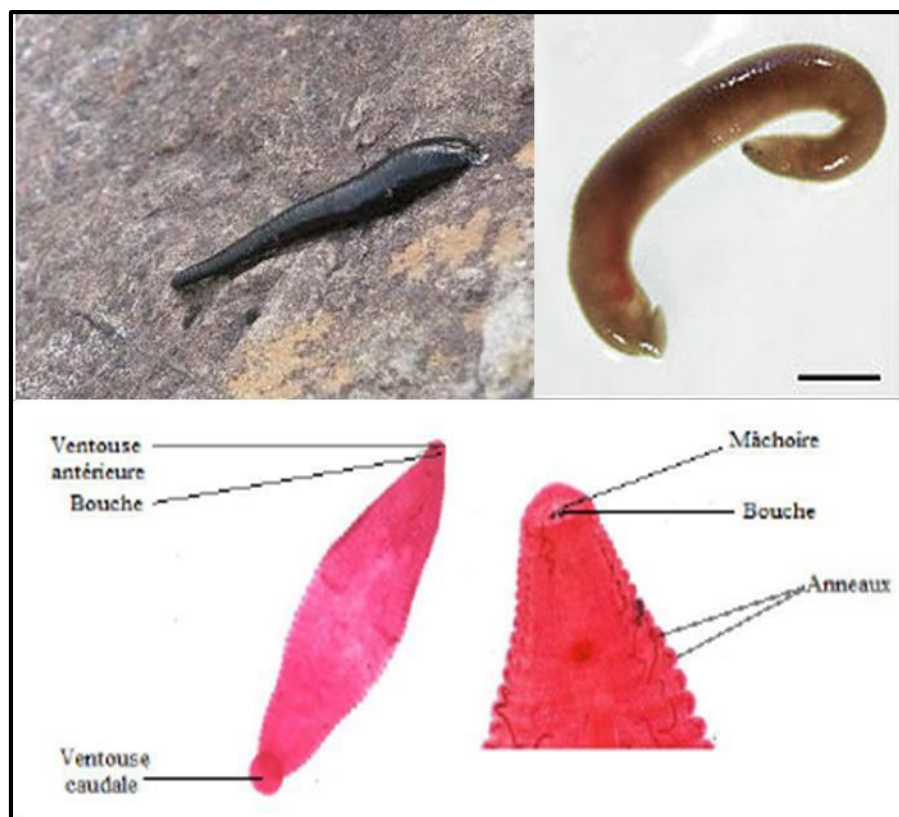


Figure 59 : Morphologie des achètes.

3.7. Embranchement Mollusques

Les Mollusques forment un vaste embranchement d'invertébrés comprenant des espèces aussi diverses que les escargots, les moules, les pieuvres et les calmars. Ce groupe, qui compte

plus de 100 000 espèces vivantes, est caractérisé par un corps mou souvent protégé par une coquille calcaire.

Les mollusques possèdent un pied musculueux utilisé pour la locomotion, une masse viscérale contenant les organes internes, et un manteau qui sécrète la coquille. Leur habitat est varié, allant des eaux marines profondes aux milieux terrestres, en passant par les eaux douces. La reproduction est généralement sexuée, avec des modes de développement qui peuvent inclure des larves nageuses, comme la véligère [Figure 61].



Figure 60 : Embranchement des mollusques.

3.7.1. Morphologie générale

Les mollusques, malgré leur grande diversité, partagent plusieurs caractéristiques communes. Leur partie dorsale est constituée d'un manteau qui sécrète des structures calcaires telles que des plaques ou une coquille. Entre ce manteau et la masse viscérale se trouve la cavité palléale, où se trouvent les cténidies (branchies), les osphradies (organes sensoriels), et les médridopores. Cette cavité est également le point d'évacuation de l'anus et des conduits génitaux.

Le système nerveux des mollusques est organisé en un anneau nerveux autour de l'œsophage avec au moins deux paires de cordons nerveux. Les mollusques possèdent une

symétrie bilatérale, bien que cette symétrie puisse être modifiée par une torsion corporelle chez certains groupes comme les gastéropodes.

Leur tégument est mou et riche en glandes à mucus. Bien qu'ils soient des coelomates, leur coelome est réduit à une cavité péricardique contenant le cœur, composé d'un ventricule et d'un ou plusieurs atriums. Le reste de la cavité corporelle est largement rempli de tissu conjonctif, à l'exception de la région entourant le cœur et des structures associées aux organes excréteurs (néphridies) [Figure 61].

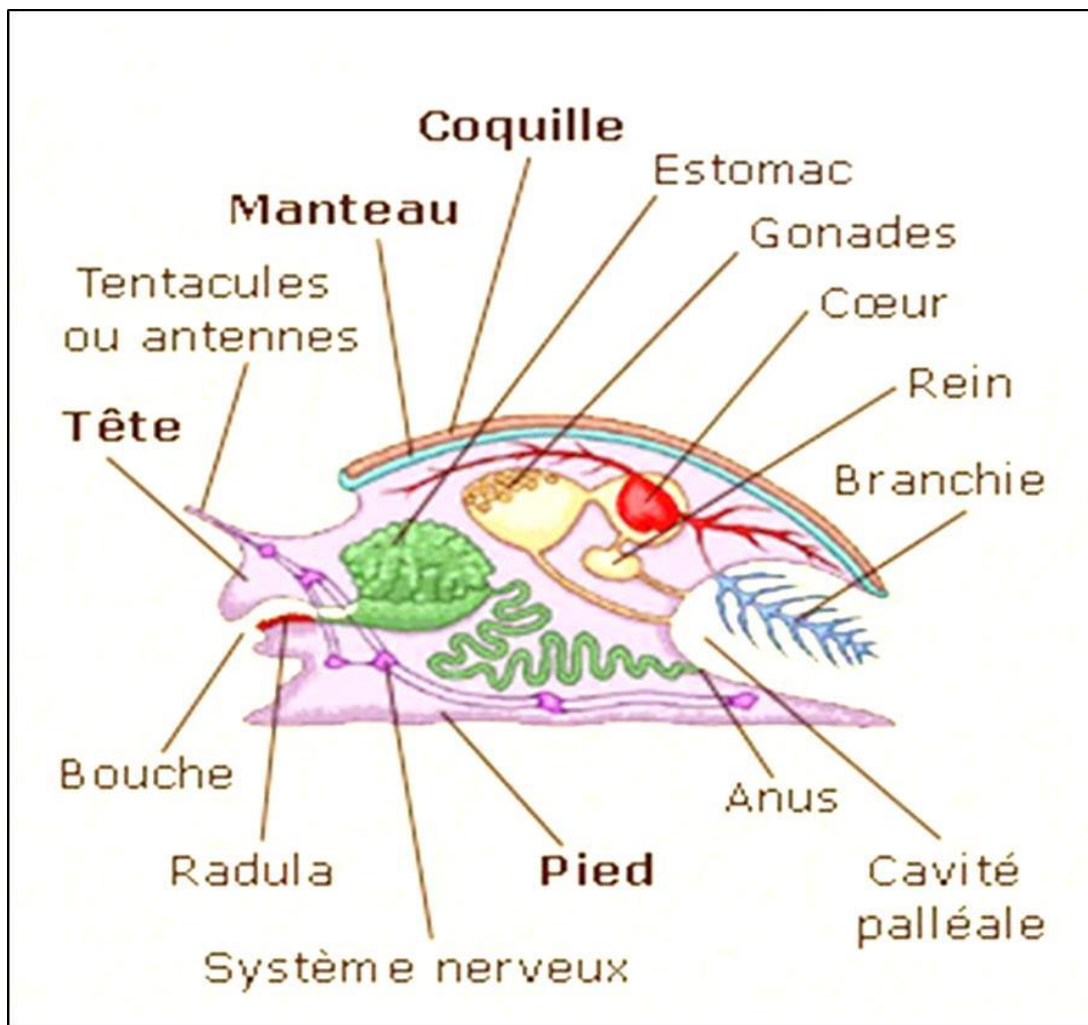


Figure 61 : Structure d'un mollusque.

3.7.2. Système nerveux

Le système nerveux des mollusques typiques comprend des ganglions cérébroïdes, parfois fusionnés pour former un cerveau, connectés à des ganglions pédieux et viscéraux via un double collier périœsophagien.

3.7.3. Appareil circulatoire

La circulation chez les mollusques est incomplète, avec des artères courtes émergeant du cœur, mais sans veines ni capillaires. Les céphalopodes se distinguent par leur système circulatoire clos, comprenant un cœur systémique et deux cœurs branchiaux. Le sang des mollusques peut être incolore ou légèrement coloré en raison de l'hémoglobine ou de l'hémocyanine dissoutes.

3.7.4. Cycle reproductif

Les mollusques ont généralement des sexes séparés, bien que certaines espèces courantes, telles que les escargots et les huîtres, soient hermaphrodites. Les œufs varient en teneur en vitellus et éclosent après un stade plus ou moins avancé de développement. Le développement embryonnaire débute par une segmentation en spirale, plaçant les mollusques aux côtés des annélides parmi les Spiralia. Lorsque les mollusques ont une larve libre (trochophore ou véligère), celle-ci ressemble fortement à la trochophore des annélides.

3.7.5. Classification

Les mollusques sont divisés en 8 classes : Les Caudofovéates, les solénogastres, les polyplacophores, les monoplacophores, les gastéropodes, les céphalopodes, les bivalves ou lamellibranches et les scaphopodes.

A. Classe des caudofovéates

Les caudofovéates (Caudofoveata) sont une classe de mollusques vermiformes caractérisés par l'absence de sillon ventral et de pied. Cette classe monotypique ne compte qu'un seul ordre : les Chaetodermatida.

Chez les caudofovéates, le manteau recouvre entièrement le corps et sécrète une cuticule contenant des écailles calcaires. La cavité palléale, située à l'arrière du corps, se transforme en une cavité cloacale, qui peut se refermer grâce à un anneau musculueux. Ces mollusques vivent enterrés dans les sédiments vaseux, orientés verticalement tête en bas, ne laissant généralement que leur extrémité postérieure dépasser dans l'eau [Figure 62].

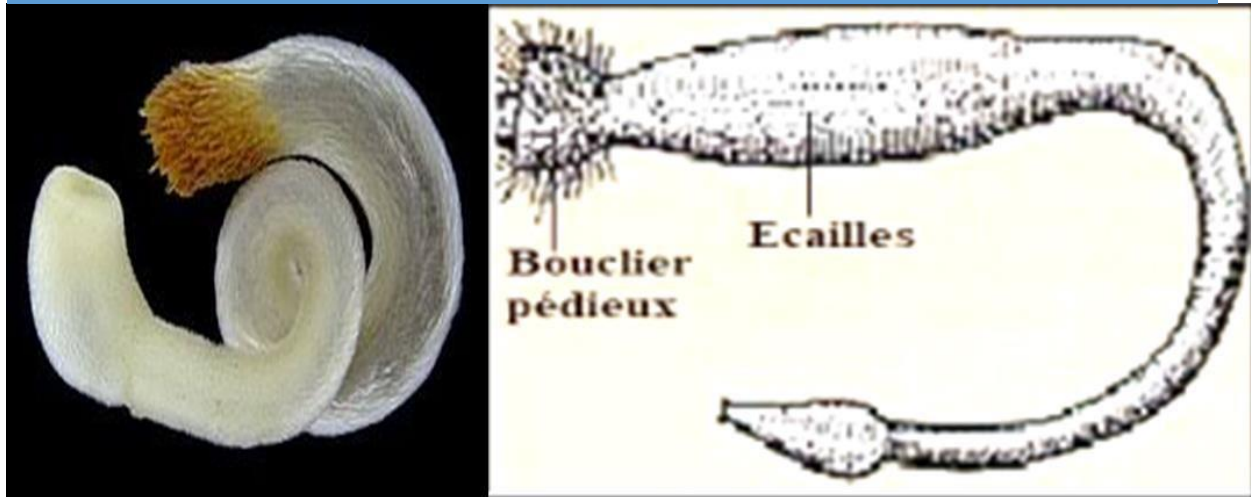


Figure 62 : Classe des caudofovéates.

B. Classe des solénogastres

Les Solénogastres, également appelés Néoméniomorphes, sont une classe de mollusques marins de forme vermiforme. Leur tête est indistincte, et leur manteau, bien développé, sécrète une cuticule épaisse contenant des spicules calcaires. Le pied est peu développé et se réduit à une crête ciliée située dans un sillon ventral.

Les Solénogastres sont hermaphrodites, avec une fécondation interne. Leur développement embryonnaire inclut un stade larvaire trochophore, qui, selon certaines observations, pourrait présenter huit plaques dorsales similaires à celles des polyplacophores, bien que ce point reste à confirmer.

Présents dans toutes les mers du monde, les Solénogastres sont benthiques, vivant généralement sur des plantes ou des animaux fixés sur les fonds marins. Ils sont prédateurs de bryozoaires et de cnidaires, dont ils se nourrissent en broutant les tissus [Figure 63].

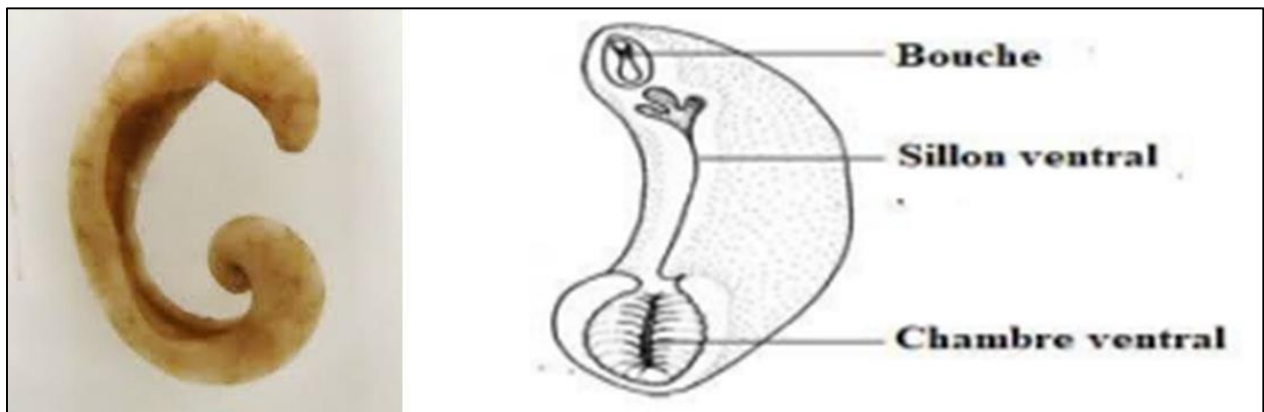


Figure 63 : Classe des solénogastres.

C. Classe des polyplacophores [chitons]

Les polyplacophores, communément appelés chitons ou oscabrions, sont une classe de mollusques caractérisée par une coquille composée de 7 ou 8 plaques articulées. Ces plaques, formées d'aragonite (un carbonate de calcium cristallisé), confèrent aux polyplacophores leur nom, signifiant "porteurs de plusieurs plaques."

Le terme "chiton" provient du grec ancien χιτών [chitōn], qui désigne un vêtement enveloppant, tandis que "polyplacophore" est issu des mots grecs "poly-" (plusieurs), "plako-" (plaques), et "-phoros" (porteur). Les chitons furent initialement étudiés par Carl von Linné en 1758, qui les classa parmi les mollusques après avoir décrit les premières espèces. Au début du XIXe siècle, ils étaient également appelés cyclobranches (« bras arrondi »). En 1876, ils furent regroupés avec les aplacophores dans le sous-phylum des Polyplacophora. La classe des polyplacophores fut officiellement introduite par J. E. Gray en 1821 [Figure 64].



Figure 64 : Classe des polyplacophores.

D. Classe des monoplacophores

Les monoplacophores (Monoplacophora) sont une classe de mollusques marins en forme de patelle, considérés comme les possibles ancêtres des autres classes de mollusques, à l'exception des polyplacophores. Ces mollusques circulaires, mesurant environ 3,5 cm de diamètre, possèdent une coquille univalve. Leur bouche est entourée de deux lèvres recouvertes de cuticule et de larges lobes ciliés.

Les monoplacophores présentent une particularité unique : des structures répétées le long de l'axe antéro-postérieur de leur corps, incluant 5 paires de branchies, 6 paires de néphridies, 8 paires de muscles rétracteurs du pied, et 2 paires de gonades. Certains chercheurs estiment que cette caractéristique est une forme de métamérie, un cas rare chez les mollusques. Cette observation pourrait indiquer que la métamérie est une caractéristique ancestrale des

mollusques, potentiellement héritée des annélides, qui aurait été perdue chez les autres classes de mollusques, sauf chez les monoplacophores. Alternativement, cette métamérie pourrait être une convergence évolutive, bien que cette hypothèse soit moins probable [Figure 65].

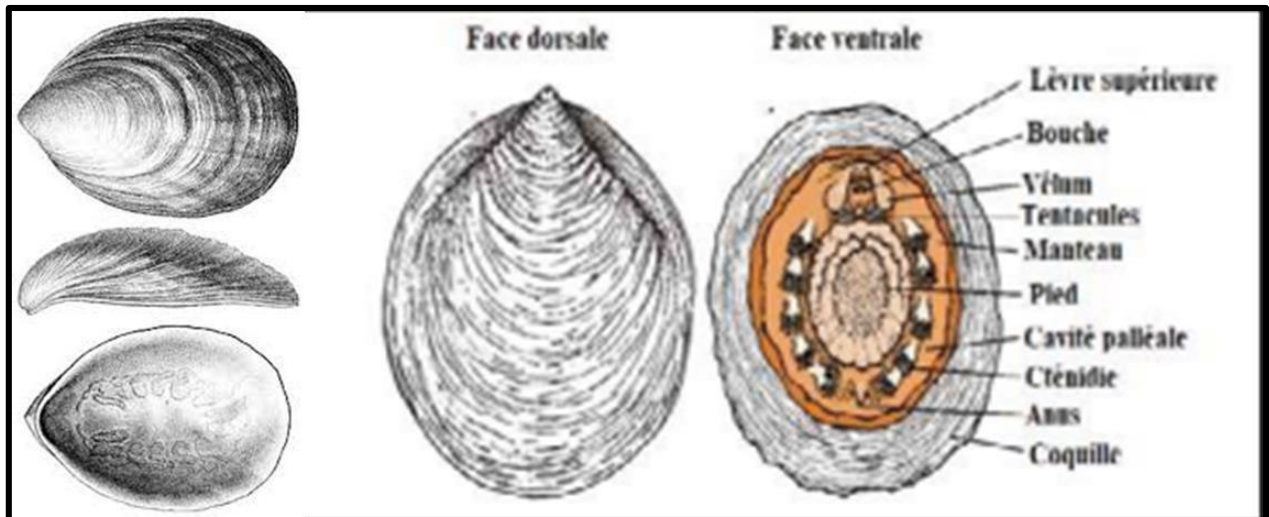


Figure 65 : Classe des monoplacophores.

E. Classe des gastéropodes

Les gastéropodes (Gastropoda), dérivant du grec ancien signifiant « ventre » et « pied », sont une classe de mollusques caractérisés par la torsion de leur masse viscérale. Ce groupe se distingue par une grande diversité de formes, bien que la plupart des gastéropodes soient reconnaissables à leur coquille dorsale torsadée et univalve, lorsqu'elle est présente. Ils constituent le deuxième plus grand groupe animal après les insectes, avec environ 40 000 espèces vivantes réparties en 409 familles reconnues, auxquelles s'ajoutent 202 familles éteintes, identifiées à l'état fossile depuis le Cambrien. Les gastéropodes habitent presque tous les environnements de la planète, à l'exception des régions polaires. Leur taille varie considérablement : certains sont millimétriques, tandis que les larves planctoniques des espèces aquatiques sont microscopiques. Le plus grand gastéropode connu, la « Trompette australienne », peut dépasser 90 cm de longueur et peser jusqu'à 18 kg.

Les gastéropodes possèdent un pied aplati formant une large sole ventrale, utilisée pour nager ou ramper, et une tête distincte équipée d'yeux et d'une radula. Leur écologie est très

diversifiée, avec des espèces présentes dans des environnements marins, d'eau douce, ou terrestres. Parmi les gastéropodes terrestres, on trouve notamment les escargots et les limaces.

Les gastéropodes, un sous-groupe de mollusques, se distinguent par leur coquille univalve, contrairement aux bivalves. Durant le développement larvaire, trois processus modifient leur symétrie bilatérale. Le premier est une flexion endogastrique, causée par une croissance inégale de la masse viscérale, qui courbe le tube digestif et rapproche les ouvertures buccale et anale. Cette flexion déplace la cavité palléale vers l'avant, améliorant la respiration branchiale, mais présente l'inconvénient de positionner l'anus au-dessus de la tête, nécessitant des adaptations morphologiques. Ensuite, la masse viscérale s'enroule en spirale, tandis que la torsion de 180° de cette masse et du manteau entraîne un déplacement des organes vers le côté dorsal, au-dessus de la tête.

Les gastéropodes pulmonés ont développé une cavité palléale transformée en poumon, leur permettant de vivre en milieu terrestre. Néanmoins, certains pulmonés, comme les planorbes et les lymnées, vivent en milieu aquatique. Les gastéropodes, souvent asymétriques, ont un corps divisé en trois régions : la tête, souvent équipée de tentacules avec des yeux ; un pied ventral élargi en disque pour la reptation ou la natation ; et une masse viscérale généralement enfermée dans une coquille spiralée. Cette coquille, souvent en spirale mais parfois d'autres formes, est variable en taille, forme et couleur. Certaines coquilles comportent un opercule pour fermer l'ouverture, et certaines sont utilisées pour fabriquer des objets en nacre ou produisent des perles de valeur [Figure 66].

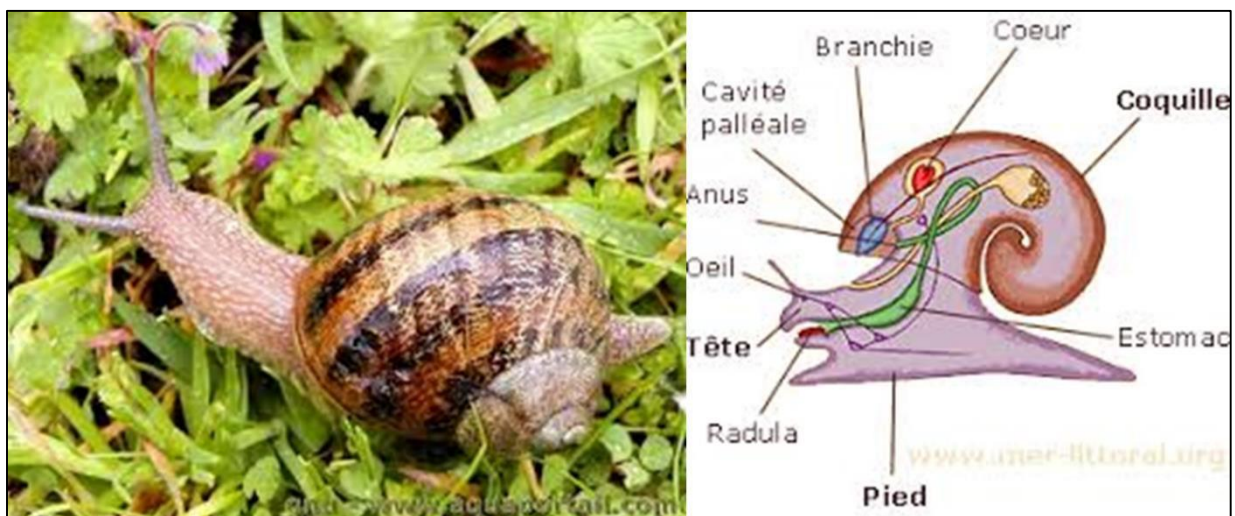


Figure 66 : Classe des gastéropodes.

F. Classe des céphalopodes

Les céphalopodes, des mollusques au corps allongé, mesurent entre 1 cm et 22 m. Leur pied, fusionné à la tête, forme un nombre variable de tentacules (de 8 à 90) autour de la bouche. Contrairement à d'autres mollusques, ils conservent une symétrie bilatérale grâce à une flexion, mais sans torsion ni enroulement de la masse viscérale. La cavité palléale, située ventralement, s'ouvre vers l'avant, juste derrière la tête, avec un siphon musculeux permettant l'expulsion de l'eau et une propulsion à reculons. Le manteau, enveloppant tout le corps, sécrète une coquille conique dirigée vers l'arrière chez les espèces primitives. Chez les nautiloïdes, cette coquille est enroulée et compartimentée, tandis que chez de nombreuses espèces actuelles, la coquille disparaît sous le manteau ou est absente, notamment chez les octopodes. Les calmars et les seiches possèdent des replis latéraux sur leur manteau pour la nage. Ces mollusques ont de grands yeux latéraux très développés. Leur bouche, entourée des tentacules, possède un bec de perroquet et une radula, tandis que leur tube digestif est replié en U. Le coelome est divisé en plusieurs cavités, dont génitale, péricardique, et rénale. Leurs ganglions nerveux, concentrés dans la tête, forment un « cerveau » protégé par un « crâne » cartilagineux. Les femelles possèdent des glandes nidamentaires sous la peau, qui sécrètent la matière nécessaire pour former les coquilles des œufs [Figure 67].

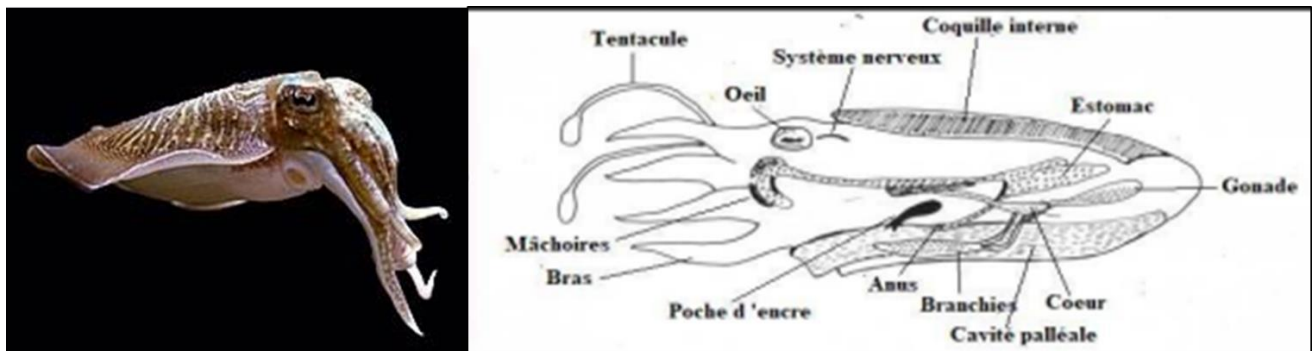


Figure 67 : Classe des céphalopodes.

G. Classe des bivalves ou lamellibranches

Les bivalves sont une classe de mollusques comprenant des espèces comme les palourdes, huîtres, moules et pétoncles. Leur corps est aplati latéralement et recouvert d'une coquille composée de deux valves reliées par un ligament, permettant de s'ouvrir et de se refermer. Sans tête ni radula, ils se nourrissent principalement en filtrant l'eau grâce à leurs

branchies (cténidies), qui jouent un rôle dans la respiration et l'alimentation. La plupart des bivalves vivent enfouis dans les sédiments marins, tandis que d'autres se fixent sur des surfaces dures ou perforent des matériaux pour s'y loger. Certains bivalves, comme les pétoncles, peuvent même nager.

La coquille, composée de carbonate de calcium, présente une symétrie bilatérale avec des tailles variant de quelques millimètres à plus d'un mètre. Les bivalves sont consommés par les humains depuis la Préhistoire, et la mariculture moderne a permis d'améliorer leur élevage et leur approvisionnement. En plus de leur utilisation alimentaire, les huîtres produisent des perles naturelles, et leurs coquilles sont utilisées dans l'artisanat. Les bivalves jouent aussi un rôle dans le contrôle des pollutions marines.

Les bivalves existent depuis plus de 500 millions d'années, avec environ 9 200 espèces vivantes aujourd'hui, réparties en 1 260 genres et 106 familles. Les bivalves marins comptent environ 8 000 espèces, tandis que les bivalves d'eau douce sont regroupés en sept familles, la plus importante étant celle des Unionidae avec environ 700 espèces [Figure 68].

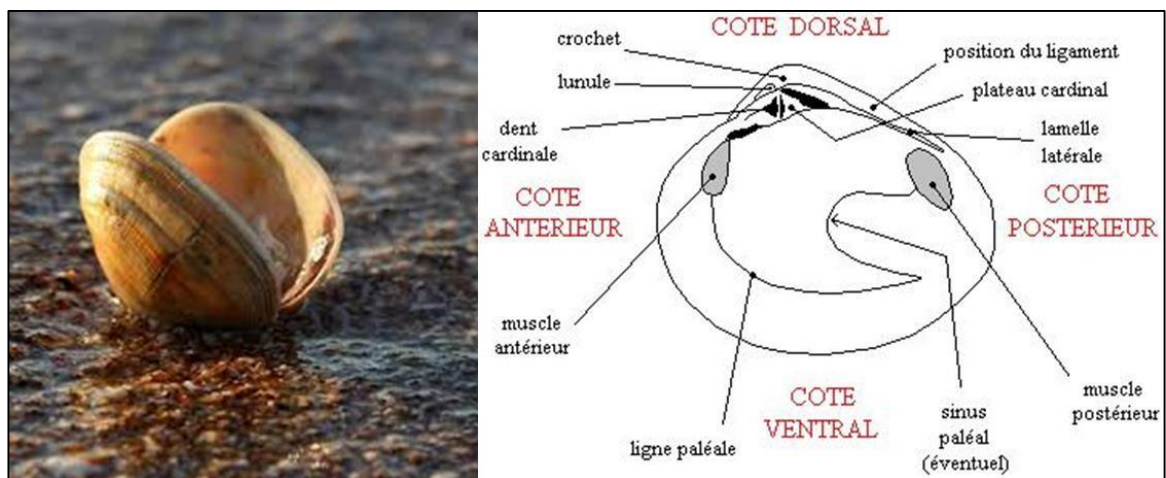


Figure 68 : Classe des lamellibranches.

H. Classe des scaphopodes ou solénoconiques

Les scaphopodes possèdent une coquille calcaire en forme de tube conique et légèrement courbé, ouverte aux deux extrémités, ce qui leur vaut le surnom anglais de "tusk shell" en raison de leur ressemblance à une défense d'éléphant. L'ouverture avant, la plus grande, abrite le pied fouisseur et les tentacules, qui s'enfoncent dans le sédiment. L'animal vit à moitié enfoui, laissant dépasser la partie arrière de sa coquille. La majorité des scaphopodes

sont de petite taille, bien que certaines espèces puissent atteindre jusqu'à 15 cm de longueur [Figure 69].

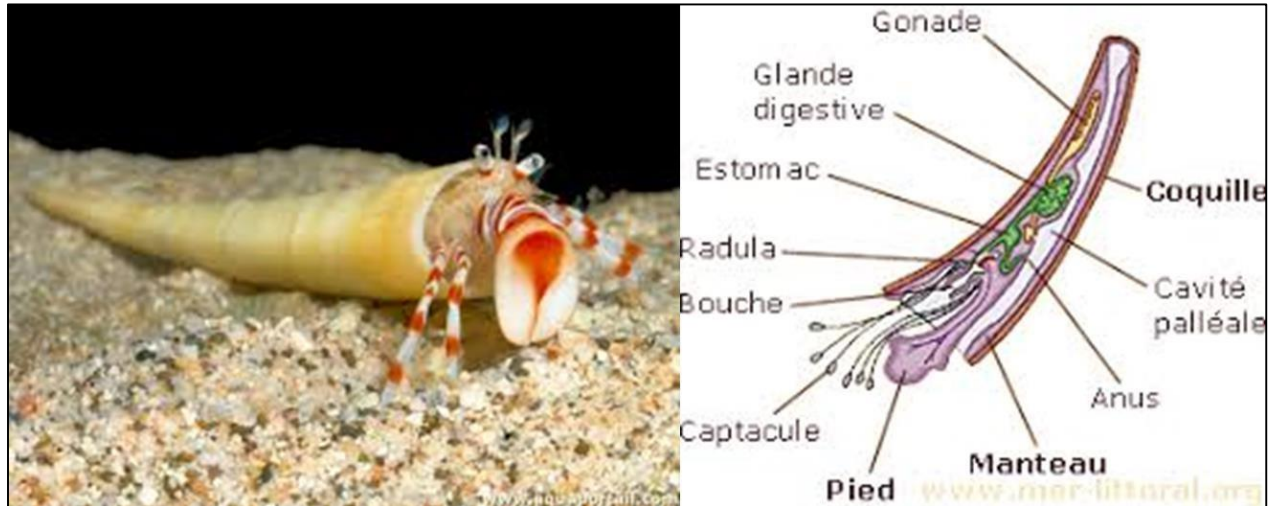


Figure 69 : Classe des scaphopodes.

3.8. Embranchement Arthropodes

Les arthropodes, également appelés « articulés », sont un groupe d'animaux protostomiens apparu il y a environ 543 millions d'années. Leur corps est segmenté et recouvert d'un exosquelette rigide, souvent composé de chitine. Ils doivent muer pour grandir, acquérir de nouveaux organes ou changer de forme. Avec plus d'un million et demi d'espèces actuelles, les arthropodes représentent environ 80 % des espèces connues dans le règne animal, principalement des insectes.

Les arthropodes se sont adaptés à divers environnements naturels et anthropiques, et certains d'entre eux, les microarthropodes, jouent un rôle crucial dans le recyclage de la matière organique dans les sols. Cependant, depuis 2008, la population d'arthropodes a considérablement diminué. Des études menées en Europe et aux États-Unis montrent une baisse importante de la biomasse et de l'abondance de ces animaux [Figure 70].

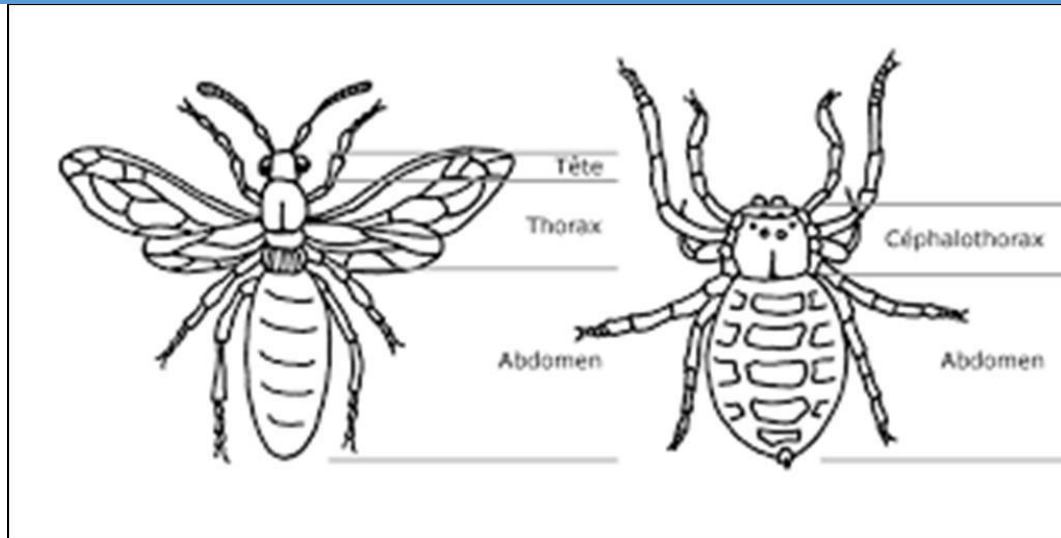


Figure 70 : Organisation générale d'un arthropode.

3.8.1. Morphologie générale

Les arthropodes, comme certains vers, possèdent un corps segmenté et des appendices articulés, rendus nécessaires par la présence de chitine, une substance résistante qui recouvre leur peau. Leurs appendices articulés s'adaptent à diverses fonctions.

La cavité interne des arthropodes est réduite à un réseau de lacunes où circule l'hémolymphe, et leur système nerveux est ganglionnaire. Au cours de leur développement, ils subissent des mues, souvent accompagnées de métamorphoses.

Les arthropodes peuvent avoir des appendices uniramés ou biramés, adaptés à différentes fonctions. Leur exosquelette segmenté est composé de trois types de segments : les tergites (face dorsale), les pleurites (côtés, où s'insèrent les appendices), et les sternites (face ventrale). Cet exosquelette est durci par la sclérotinisation chez les insectes ou la calcification chez les crustacés, processus où des sels minéraux issus de l'eau de mer sont utilisés pour renforcer la cuticule [Figure 71].

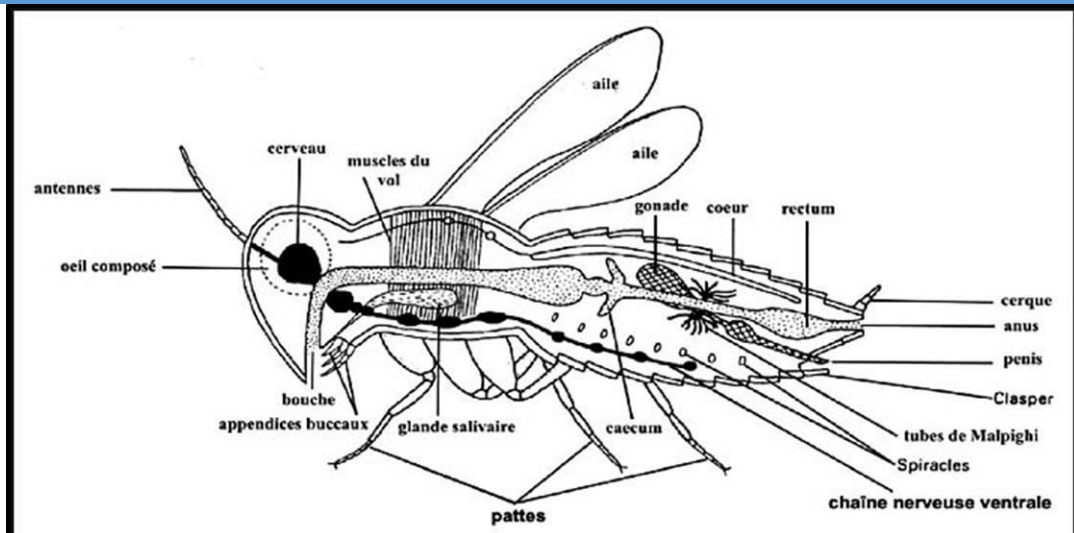


Figure 71 : Organisation interne d'un arthropode hexapode.

❖ Caractéristiques liées à la chitine

La chitine, un polysaccharide azoté sécrété par l'ectoderme, commence par être mince et flexible avant de s'épaissir pour former une carapace résistante. Cette carapace recouvre non seulement l'extérieur du corps des arthropodes, mais aussi les parties antérieures et postérieures de leur tube digestif.

La chitine est un élément central chez les arthropodes, influençant plusieurs de leurs caractéristiques :

- **Membranes articulaires** : Contrairement aux Némathelminthes, qui peuvent avoir une carapace d'une seule pièce, les arthropodes nécessitent une mobilité accrue. Leur carapace est donc interrompue à la jonction des segments successifs par des membranes flexibles.
- **Appendices articulés** : Pour éviter que leurs appendices ne soient rigides et inutiles, ils sont segmentés et articulés, d'où le nom "arthropodes" (du grec "arthron", articulation, et "podos", pied).
- **Absence de cils vibratiles** : Les arthropodes ne possèdent pas de cils vibratiles, une caractéristique liée à leur structure.
- **Muscles spécialisés** : Chez les arthropodes, les muscles ne forment pas une couche continue comme chez les vers, mais sont individualisés et spécialisés, adaptés aux segments articulés.

- **Mues :** La carapace rigide entrave la croissance, ce qui oblige les arthropodes à la rejeter périodiquement lors des mues. Chaque mue permet aux tissus comprimés de se dilater, et l'ectoderme sécrète alors une nouvelle couche de chitine, rendant la croissance des arthropodes discontinue plutôt que continue.

❖ Appendices

En raison de la présence d'une cuticule rigide et inextensible formant l'exosquelette, les arthropodes possèdent des appendices segmentaires articulés. Chaque segment (ou métamère) est relié aux segments voisins par des membranes flexibles, et chaque métamère porte typiquement un nombre pair d'appendices articulés, qui remplissent diverses fonctions (antennes, pièces buccales, pattes locomotrices, etc.). La tagmatisation peut entraîner la présence, l'absence, ou la réduction de ces appendices. Contrairement aux parapodes souples des annélides, les appendices des arthropodes sont composés de plusieurs segments rigides, reliés entre eux par des membranes articulaires flexibles qui permettent le mouvement.

Les appendices sont généralement composés d'une base ou protopodite, constituée de deux segments, chacun portant deux segments latéraux :

Sur le segment proximal, on trouve une gnathobase masticatrice à l'intérieur et un épipodite respiratoire à l'extérieur.

Sur le segment distal, un endopodite est situé à l'intérieur, tandis qu'un exopodite est à l'extérieur.

Ces structures simples sont caractéristiques des crustacés inférieurs, mais chez les autres arthropodes, elles deviennent plus complexes et se spécialisent en différentes fonctions : appendices sensoriels (antennules, antennes), masticateurs (mandibules, maxilles), préhenseurs (pinces, pédipalpes), locomoteurs (pattes, nageoires), ou reproducteurs (organes d'accouplement).

À noter que les ailes, d'un point de vue morphologique, ne sont pas considérées comme des appendices, car elles ne possèdent pas ces segments [Figure 72].

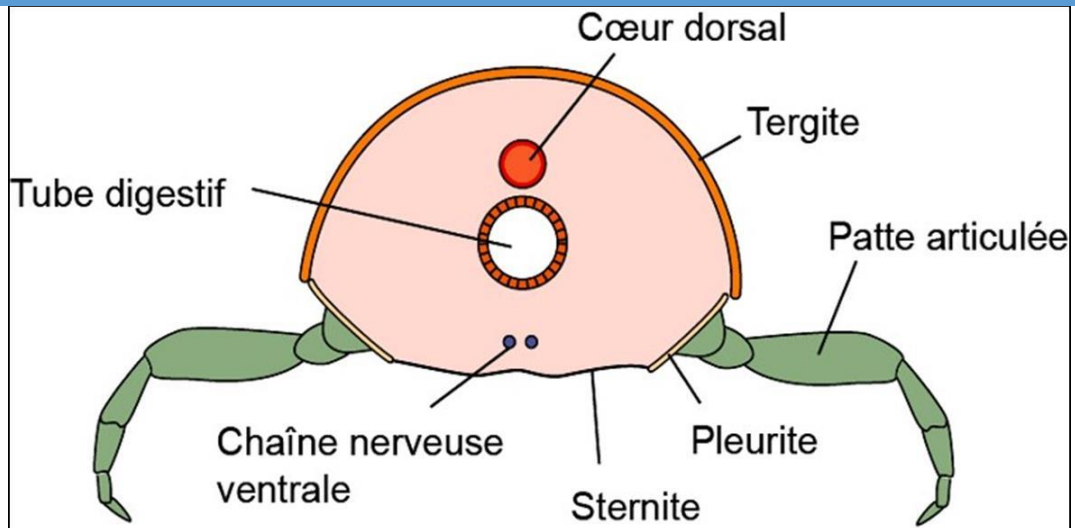


Figure 72 : Appendice des arthropodes.

❖ Appareil circulatoire

Le système circulatoire des arthropodes est constitué d'un réseau de cavités appelées lacunes. Il n'y a ni capillaires ni veines, et les artères sont réduites. Les vésicules coelomiques segmentées ont fusionné avec le blastocèle embryonnaire, suite à la disparition des dissépiments (les parois entre les segments), formant ainsi l'hémocœle. C'est dans cette cavité que circule l'hémolymph, un liquide qui joue un rôle similaire à celui du sang et du liquide interstitiel chez les vertébrés.

Le cœur, situé sur la face dorsale, est constitué d'une ou plusieurs poches alignées en série, chacune percée d'une paire d'orifices appelés ostioles. Lors de la dilatation, l'hémolymph est aspirée à travers les ostioles, puis, à chaque contraction, elle est propulsée dans les artères.

Le sang des arthropodes est généralement incolore ou teinté de bleu en raison de la présence d'hémocyanine, et ne contient que des globules blancs.

❖ Appareil excréteur

L'appareil excréteur des arthropodes varie grandement selon les groupes. Il est composé de quelques glandes, probablement dérivées des néphridies.

❖ Système nerveux

Le système nerveux des arthropodes est ventral et ganglionnaire. Il comprend toujours une paire de ganglions cérébroïdes et une paire de ganglions sous-œsophagiens, reliés par un collier périphagien. Le reste du système nerveux est structuré en une « échelle de corde » ou «

corde à nœuds », où les ganglions de chaque paire sont reliés par une « commissure » et les paires successives par des « connectifs ». Chez les arthropodes plus évolués, ces ganglions tendent à fusionner en une ou plusieurs masses.

❖ Yeux

Les arthropodes possèdent des yeux simples (ocelles) ou des yeux composés (à facettes). Un œil composé peut être constitué de plusieurs centaines d'ommatidies, chacune comprenant:

- Une couche de cellules cornéennes formant une cornée transparente (l'une des facettes de l'œil).
- Une couche de cellules cristallines qui sécrètent un cristallin oblong.
- Une couche de cellules rétiniennes qui produisent des bâtonnets sensibles à la lumière.

Les ommatidies sont séparées par des cellules noires, et il est probable que les yeux composés offrent une vue panoramique, bien que peu précise.

❖ Sens

Les arthropodes se dirigent principalement par le toucher et l'odorat, localisés dans des poils sensoriels appelés sensilles. Ces sensilles sont creux et contiennent les prolongements de neurones sensitifs. Certains arthropodes possèdent également des organes auditifs et des organes d'équilibre.

❖ Reproduction

Les arthropodes ont généralement des sexes séparés. Leurs œufs, riches en vitellus (œufs centrolécithes), subissent une segmentation partielle ou inégale.

Au cours du développement, les mues fréquentes s'accompagnent parfois de changements de morphologie significatifs, connus sous le nom de métamorphoses. Ces transformations ont parfois conduit à une confusion, faisant croire à l'existence d'espèces différentes alors qu'il s'agissait en réalité de différentes étapes du cycle de vie d'une même espèce.

3.8.2. Classification des arthropodes

Le phylum des arthropodes se divise en 5 sous-embranchement : Les trilobitomorphes , les chélicérates , les crustacés , Les myriapodes et les hexapodes ou insectes.

A. Sous-embranchement des trilobitomorphes

Ce sont des arthropodes marins fossiles ayant vécu durant le Paléozoïque, du Cambrien au Permien, s'éteignant lors de l'extinction de masse à la fin du Permien, il y a 250 millions d'années. Ils constituaient leur propre classe d'arthropodes, caractérisée par une anatomie spécifique, notamment la « trilobation » longitudinale (lobe médian et deux lobes latéraux) et la segmentation en céphalon, thorax et pygidium. Bien que leur apparence puisse rappeler certains crustacés et chélicérates modernes, ils sont distincts.

Ces arthropodes étaient très diversifiés, avec des tailles variant de 1 millimètre à 70 centimètres, bien que la majorité mesurait entre 2 et 7 centimètres. Leur abondance dans les roches du Paléozoïque et leur variété de formes en font des fossiles prisés par les collectionneurs. Cette diversité pourrait être liée à leurs mues fréquentes et à des changements de morphologie au cours de leur développement, ce qui a pu entraîner une surestimation du nombre d'espèces, dont certaines pourraient être des formes larvaires ou juvéniles.

Le corps des trilobites est divisé en trois lobes longitudinaux : le céphalon, le thorax, et le pygidium. Ils possèdent une paire d'antennes et des appendices biramés [Figure 73].

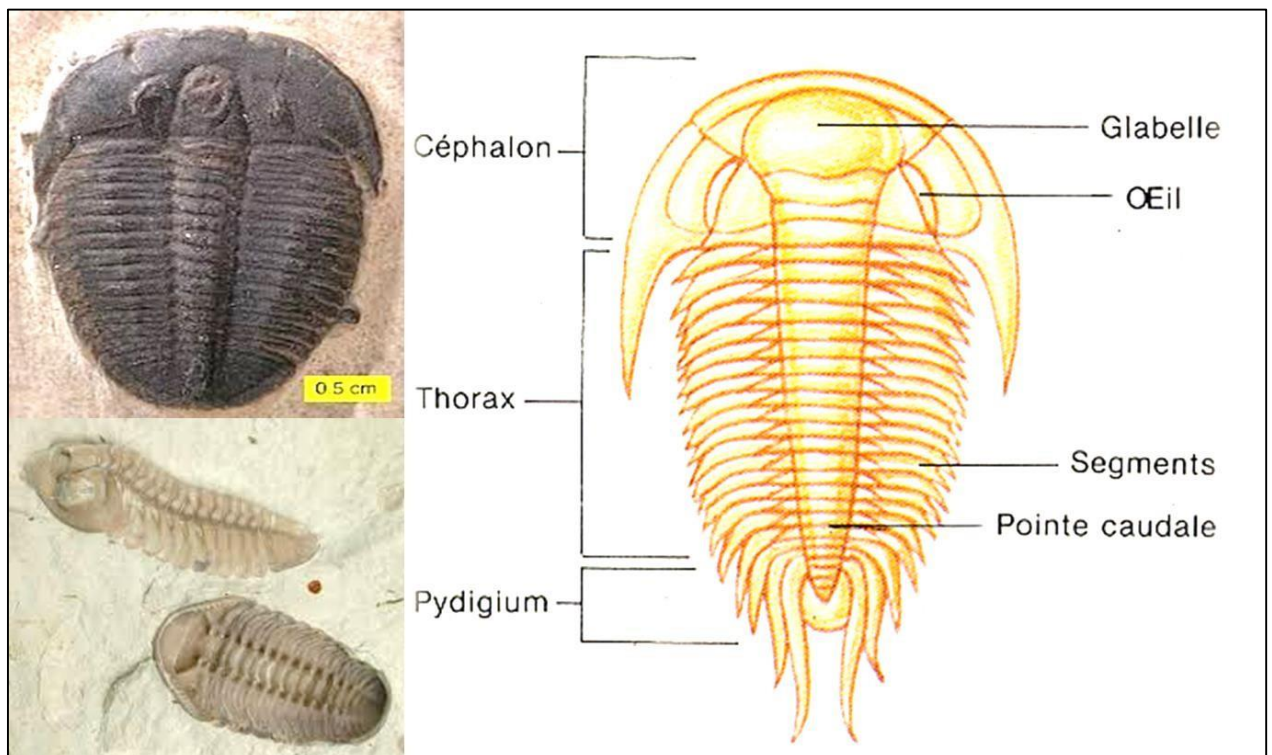


Figure 73 : Sous-embranchement des trilobitomorphes.

B. Sous-embranchement des chélicérates

Les Chélicérates (Chelicerata), dont le nom signifie "pourvus de chélicères," constituent un sous-embranchement des Arthropodes. Ce groupe inclut les classes actuelles des arachnides (comme les araignées et les scorpions), des pycnogonides et des mérostomes (comme les limules). Principalement des prédateurs, les Chélicérates ont survécu à l'extinction des trilobites, ces arthropodes marins très répandus durant le Paléozoïque.

La plupart des Chélicérates marins, tels que les euryptérides, sont désormais éteints. Chez les Chélicérates, le corps est divisé en deux parties principales :

1. **Prosoma (ou céphalothorax)** : Partie antérieure composée de 8 segments, auxquels s'ajoute une pièce antérieure appelée acron. Contrairement à d'autres arthropodes, les Chélicérates n'ont pas de paire d'antennes sur le dernier segment préoral. Le prosoma porte généralement des yeux, et la bouche se situe entre les 2e et 3e segments.
2. **Opisthosoma (ou abdomen)** : Partie postérieure formée de 12 segments et d'une pièce terminale appelée telson. Chez certaines espèces, comme les scorpions, ces segments sont visibles, tandis que chez d'autres, comme les opilions et les acariens, le céphalothorax et l'abdomen sont soudés.

Le système nerveux central des Chélicérates est composé d'un protocérébron et d'un tritocérébron entourant l'œsophage [Figure 74].

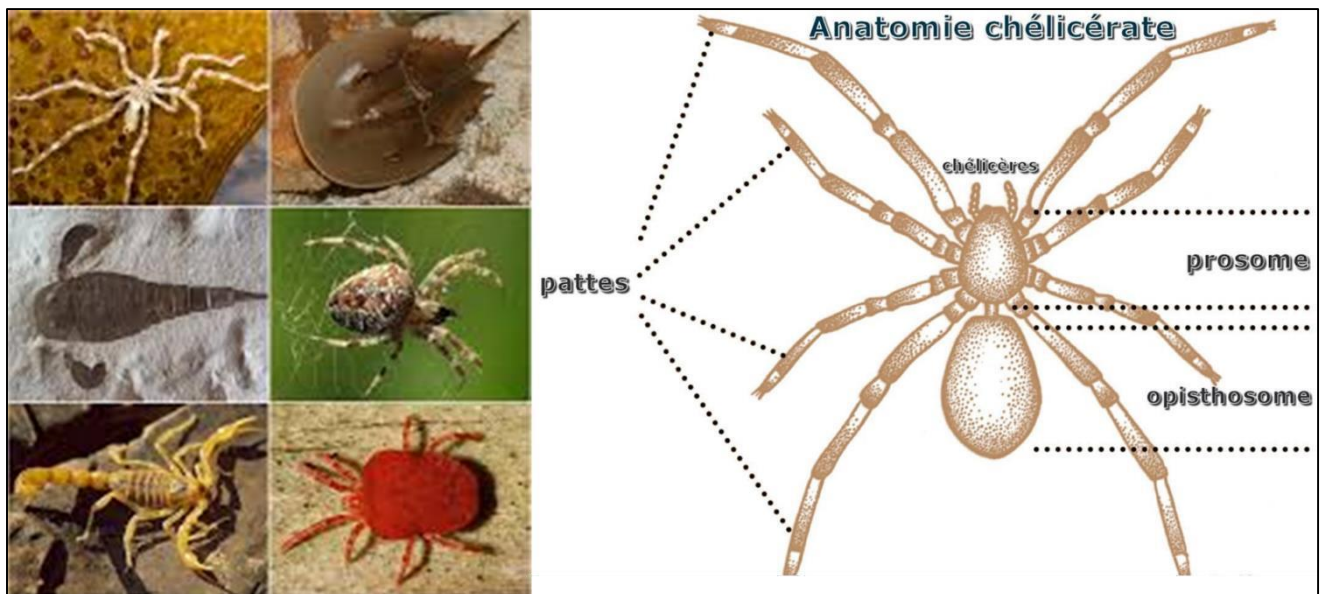


Figure 74 : Sous-embranchement des Chélicérates.

Les chélicérates se subdivisent en 3 classes :

✚ Classe des mérostomes

La principale différence entre les Xiphosures et les Arachnides réside dans la fonction du prosome et de l'opisthosome. Chez les Xiphosures, le prosome agit comme un grand bouclier indivisible, tandis que l'opisthosome est doté d'appendices biramés.

Les membres de cette classe se divisent en deux sous-classes : les Xiphosures, comprenant les limules (ou crabes fer à cheval), et les Euryptérides, également appelés scorpions d'eau géants. Les Euryptérides sont éteints et ont vécu du Cambrien au Permien.

Actuellement, seules quatre espèces de limules sont connues, dont *Limulus polyphemus*, largement répartie dans l'océan Atlantique et le golfe du Mexique.

Les limules possèdent une carapace en forme de fer à cheval. Leur prosome comprend une paire de chélicères et cinq paires de pattes marcheuses composées de sept segments, dont les premiers segments des quatre premières pattes sont modifiés en pièces masticatrices.

L'opisthosome porte six paires d'appendices, avec la première paire fusionnée pour former un opercule génital portant les deux pores génitaux sur sa face interne. Les autres paires sont transformées en branchies membraneuses, toujours en mouvement et pouvant aider à la nage. L'opisthosome se termine par un telson en forme d'épine, caractéristique du groupe [Figure 75].

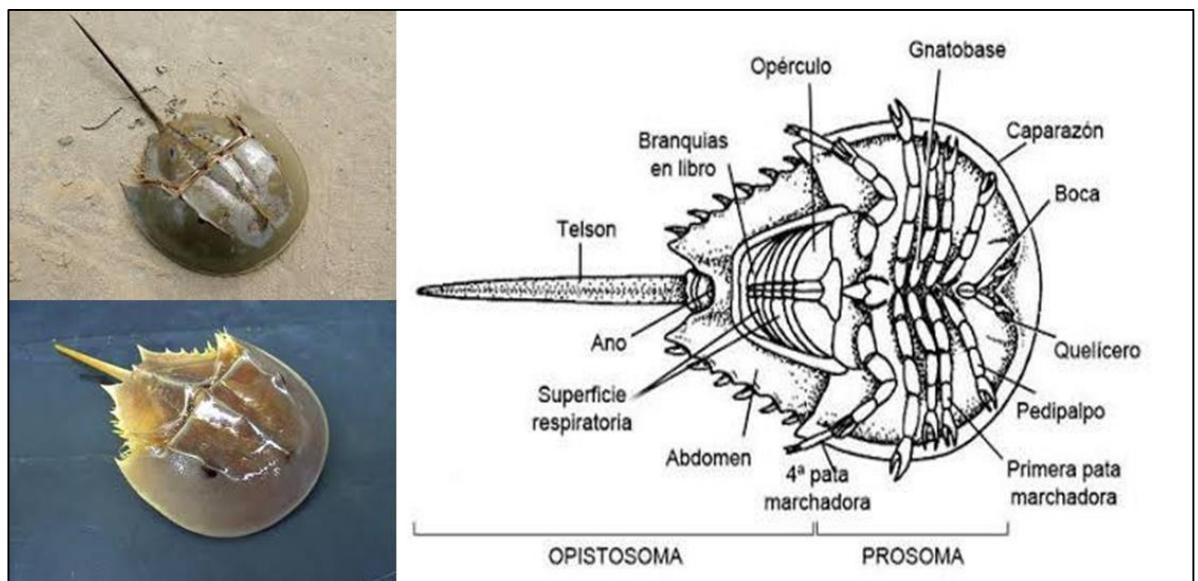


Figure 75 : Classe des mérostomes.

 Classe des arachnides

Les Arachnides (Arachnida) sont une classe d'arthropodes chélicérés, majoritairement terrestres ou aquatiques, souvent insectivores. Ce groupe inclut des ordres tels que les Araignées, les Scorpions, les Acariens et les Opilions. Ils se distinguent au sein des arthropodes par leurs quatre paires de pattes, l'absence d'ailes et d'antennes, et la présence d'yeux simples (ocelles) plutôt que d'yeux composés. La plupart des Arachnides sont ovipares, et il existe généralement un dimorphisme sexuel marqué.

Le nom de cette classe provient du mot grec "arachné," signifiant "araignée."

Les arachnides sont principalement carnivores, se nourrissant surtout d'insectes. Cependant, certaines grosses mygales peuvent capturer de petits rongeurs ou oiseaux. Les acariens libres sont souvent des prédateurs de petits animaux vivant dans la litière du sol et peuvent être symbiotes d'autres arthropodes comme les mille-pattes, les fourmis et les coléoptères. Certains groupes, comme les tiques, sont des parasites hématophages de vertébrés.

Les arachnides sont dioïques, avec deux pores génitaux situés sur la face ventrale du second segment abdominal, correspondant à l'opisthosome. Le transfert de sperme est généralement indirect : le mâle crée un spermatophore pour transférer les spermatozoïdes à la femelle. Des parades nuptiales permettent aux individus d'une même espèce de se reconnaître et de faciliter la fertilisation. Chez certaines espèces, comme les araignées, il y a copulation directe, où le sperme est transféré par un pédipalpe modifié chez le mâle. Le développement est direct, et les jeunes éclosent sous forme de miniatures des adultes. De plus, de nombreux arachnides prennent soin des œufs et des jeunes après leur éclosion [Figure 76].

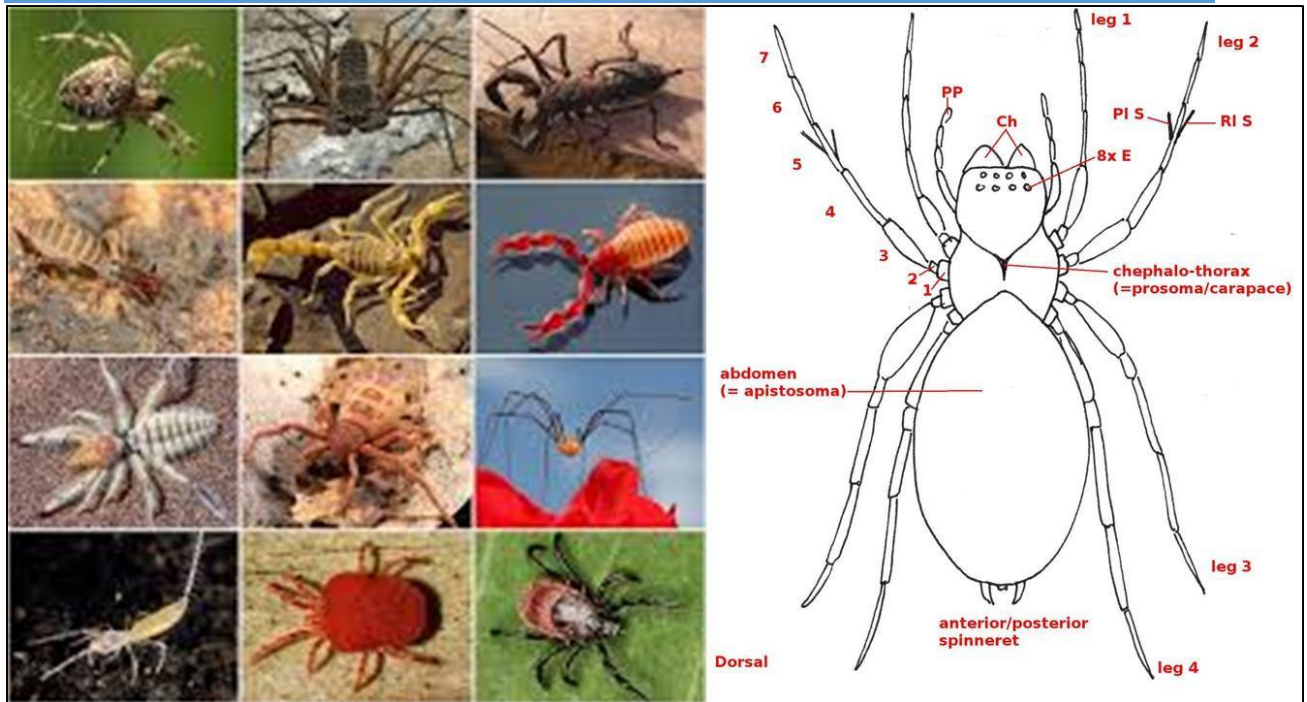


Figure 76 : Morphologie de la classe des arachnides.

✚ Classe des Pycnogonides

Les pycnogonides (Pycnogonida) sont une classe d'arthropodes chélicérés, proches des arachnides mais plus primitifs, vivant exclusivement en milieu marin. Leur nom, issu du grec ancien, signifie littéralement « en forme de genoux épais », en référence à la morphologie de leurs pattes. Ce sont de petits animaux au corps plat et segmenté, généralement mesurant moins d'un centimètre, dotés de quatre paires de pattes, d'une trompe parfois accompagnée de chélicères, et d'une paire de pédipalpes. Ils habitent près des côtes, souvent sur des bryozoaires, hydres ou algues rouges.

Un trait distinctif des pycnogonides est la réduction, voire la disparition, de l'opisthosome (partie postérieure du corps). En raison de leur petite taille, certains de leurs organes, comme l'appareil digestif ou reproducteur, s'étendent parfois dans leurs pattes. Chez les mâles, une paire de pattes, les ovigères, sert à transporter les œufs jusqu'à leur éclosion.

Tous les pycnogonides actuels appartiennent à l'ordre des Pantopoda. Ils sont principalement carnivores, se nourrissant d'éponges, coraux, anémones, hydroïdes ou bryozoaires, en aspirant les tissus avec leur trompe ou en arrachant des morceaux avec leurs pinces chélicères [Figure 77].

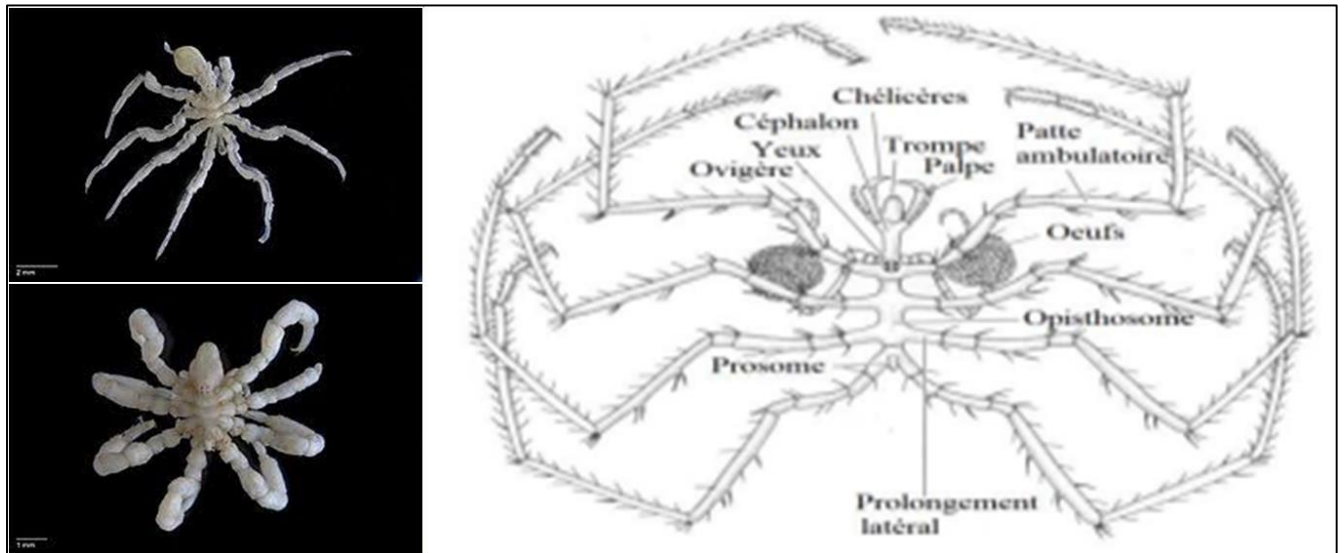


Figure 77 : Classe des pycnogonides.

C. Sous embranchement des crustacés

Les Crustacés (Crustacea) sont un sous-embranchement des Arthropodes caractérisés par un exosquelette chitino-protéique, souvent renforcé par du carbonate de calcium, qui forme une carapace plus ou moins rigide. Cette structure, appelée exocuticule, possède des zones flexibles permettant l'articulation des segments du corps et des appendices, facilitant ainsi le mouvement. En raison de leur squelette externe peu extensible, les Crustacés doivent passer par des mues pour croître.

Ce groupe comprend plus de 50 000 espèces très diversifiées, allant des balanes et copépodes aux homards et cloportes, avec des tailles variant de quelques millimètres (pour les formes planctoniques comme les copépodes) à plusieurs mètres (comme le crabe-araignée géant du Japon, qui peut atteindre près de 4 mètres d'envergure). Le krill antarctique est particulièrement notable, représentant probablement la plus grande biomasse animale de la planète.

Les Crustacés sont majoritairement aquatiques, vivant en milieu marin ou en eau douce, bien que certaines espèces aient adopté un mode de vie partiellement ou totalement terrestre,

comme les cloportes. Ce groupe comprend également de nombreuses espèces parasites, comme les "poux" des poissons ou les sacculines qui parasitent d'autres crustacés.

Cependant, ce groupe est considéré comme paraphylétique, car il exclut les hexapodes, contrairement aux Pancrustacés [Figure 78].

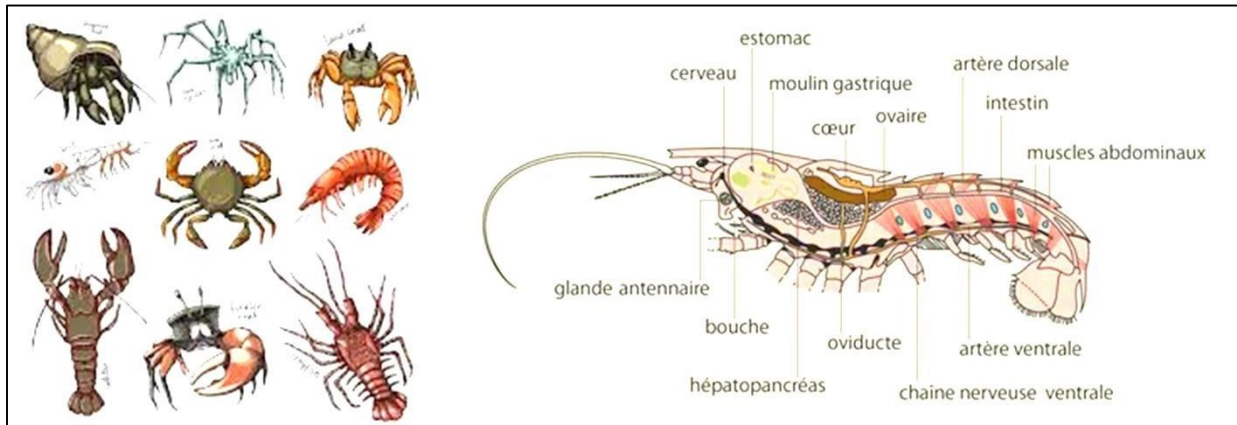


Figure 78 : Sous-embanchement des crustacés.

▪ Morphologie

La morphologie des Crustacés est complexe, avec une terminologie qui varie selon les taxons, les auteurs, et les époques. Leur corps est principalement composé de segments répétitifs appelés métamères, encadrés par l'acron à l'avant et le telson à l'arrière, qui ne sont généralement pas considérés comme de véritables métamères. Ces métamères se regroupent en unités fonctionnelles, appelées tagmes, qui forment les différentes parties du corps : la tête (céphalon), le thorax (péréion), et l'abdomen (pléon). En principe, chaque segment porte une paire d'appendices.

▪ Alimentation

Les crustacés présentent une grande diversité alimentaire :

- **Carnivores** : Crabes, homards, crevettes, agissant comme prédateurs ou charognards.
- **Filtreurs** : Balanes, porcellanes, euphausiacés, qui se nourrissent de petites particules.
- **Phytophages** : Crabe de cocotier, principalement herbivore.
- **Parasites** : Certaines espèces sont externes ou internes à d'autres animaux.

▪ Système nerveux

Le système nerveux des crustacés est constitué de ganglions correspondant aux métamères, pouvant fusionner en une masse unique dans certaines espèces comme les crabes. Il peut également présenter des différenciations endocrines.

▪ **Appareil circulatoire**

Le système circulatoire est généralement ouvert, avec un cœur dorsal qui envoie le sang à travers des artères se ramifiant en artérioles. Le liquide circulant, l'hémolymph, est ensuite ramené au cœur par des lacunes ou des sinus. Certaines espèces comme les cirripèdes et certains crabes peuvent avoir un système partiellement clos.

▪ **Excrétion**

Les crustacés possèdent des organes excréteurs situés dans les métamères antennaire ou maxillaire. Ces organes jouent un rôle dans l'osmorégulation et la régulation des ions, et l'excrétion azotée peut également se produire au niveau des branchies.

▪ **Respiration**

La respiration varie selon la taille et l'habitat :

- ***Petites espèces*** : Respiration cutanée à travers un tégument mince.
- ***Espèces plus grandes*** : Utilisation de branchies situées sur le thorax ou l'abdomen, ou d'organes spécialisés comme les « poumons » chez les décapodes terrestres et les pseudotrachées chez certains isopodes terrestres. Les branchies, lamellaires ou filamenteuses, facilitent l'échange gazeux en mouvement d'eau.

▪ **Sexualité**

La reproduction est sexuée :

- ***Hermaphrodisme*** : Présent chez certains cirripèdes.
- ***Sexes séparés*** : Généralement observé, avec un dimorphisme sexuel variable.
- ***Hermaphrodisme protandrique*** : Exemple chez la crevette du Nord, *Pandalus borealis*.

Il y a cinq classes de crustacés :

1. Classe des malacostracés

Les malacostracés forment la classe la plus étendue des crustacés, englobant des groupes tels que les crabes, homards, écrevisses, crevettes, mysides, krill, isopodes et amphipodes. Leur tête est fusionnée avec le thorax pour former un céphalothorax distinct de l'abdomen. Les malacostracés possèdent généralement 21 segments (à l'exception des phyllocarides) et 19 paires d'appendices, ainsi que des yeux pédonculés [Figure 79].

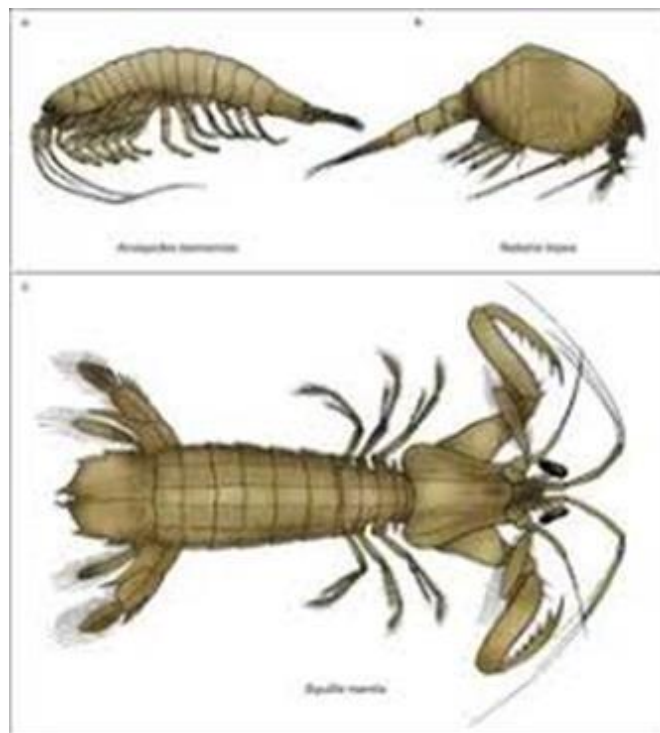


Figure 79 : Classe des malacostracés.

2. Classe des rémipèdes

Découverts en 1975 par J. Yager dans les eaux souterraines des grottes des Bahamas, les rémipèdes sont de petits crustacés hermaphrodites mesurant entre 9 et 45 mm de long. La plupart des espèces habitent des grottes anchialines, des cavités inondées reliées à l'océan par des connexions souterraines. Ces grottes, situées en zone côtière, sont influencées par les eaux de pluie et les marées à travers des canaux souterrains et des fissures.

Les rémipèdes possèdent une tête et un tronc segmenté, avec jusqu'à quarante-deux segments similaires. Leurs appendices sont latéraux sur chaque segment, et ces animaux nagent sur le dos, se déplaçant généralement lentement. Ils sont prédateurs, se nourrissant

principalement d'autres petits crustacés tels qu'*Artemia*, *Mysida* et *Typhlatya*, mais consomment également des charognes en raison de la rareté des proies dans leur habitat [Figure 80].



Figure 80 : Classe des rémipèdes.

3. Classe des céphalocarides

Les céphalocarides sont de petits crustacés primitifs mesurant moins de 4 millimètres, vivant dans les sédiments marins. Contrairement aux autres crustacés, leurs yeux sont enfouis dans l'exosquelette plutôt que montés sur des tiges.

On les trouve dans l'océan Pacifique, l'Atlantique et en Méditerranée, avec seulement 9 espèces décrites à ce jour. Ces crustacés se nourrissent de détritus marins benthiques en générant un courant avec leurs appendices thoraciques pour capturer les particules alimentaires. Les céphalocarides sont hermaphrodites [Figure 81].

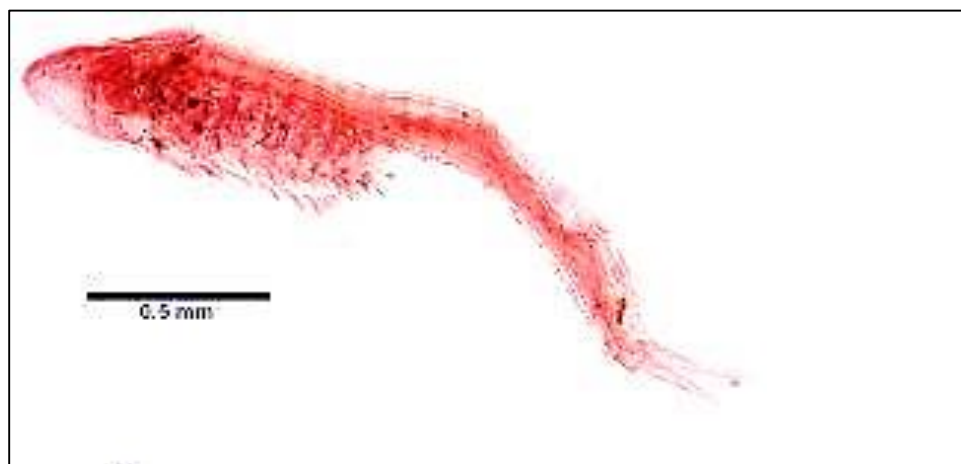


Figure 81 : Classe des céphalocordés.

4. Classe des branchiopodes

Les membres de cette classe de crustacés vivent principalement dans les eaux douces et sont adaptés aux milieux temporaires avec de grandes variations de salinité. Ils possèdent des appendices plats et foliacés utilisés pour la respiration, la filtration de la nourriture et la locomotion.

Leurs œufs, après enkystement, deviennent des formes résistantes qui leur permettent de survivre dans des environnements temporaires [Figure 82].



Figure 82 : Classe des branchiopodes.

5. Classe des maxillipodes

Cette classe de crustacés regroupe des espèces de petite taille, caractérisées par un corps court divisé en cinq segments céphaliques, six thoraciques, quatre abdominaux et un telson. Elle se divise en deux sous-classes principales :

- ✚ **Les Copépodes** : Petits crustacés libres présents dans les habitats marins et d'eau douce. Leur corps est cylindrique, le céphalon est protégé par un bouclier céphalique, et les premiers segments thoraciques fusionnent avec le céphalon. Ils possèdent un œil simple, appelé "œil nauplien".
- ✚ **Les Thécostracés (ou Barnacles)** : Crustacés fixés à des substrats tels que des roches ou des animaux marins, comme les mollusques et les baleines. Ils vivent dans une coquille constituée de plaques calcaires et sont exclusivement marins [Figure 83].



Figure 83 : Classe des maxillopodes.

D. Sous embranchement des myriapodes

Les Myriapodes (Myriapoda, du grec μυρία / murios, « innombrable », et πούς / pous, « pied ») sont des arthropodes à corps allongé et segmenté, dotés de nombreuses pattes. Communément appelés « mille-pattes », ils forment un sous-embranchement des arthropodes.

Description

Les myriapodes possèdent une tête suivie de nombreux segments similaires, chacun portant une ou deux paires de pattes. En France, on trouve notamment des scolopendres, des scutigères, des lithobies et des iules.

Les myriapodes sont des mandibulés avec un grand nombre de segments postcéphaliques, chacun portant une paire de pattes. Chez les diplopodes, les segments sont regroupés deux à deux, formant des anneaux avec deux paires de pattes chacun [Figure 84].

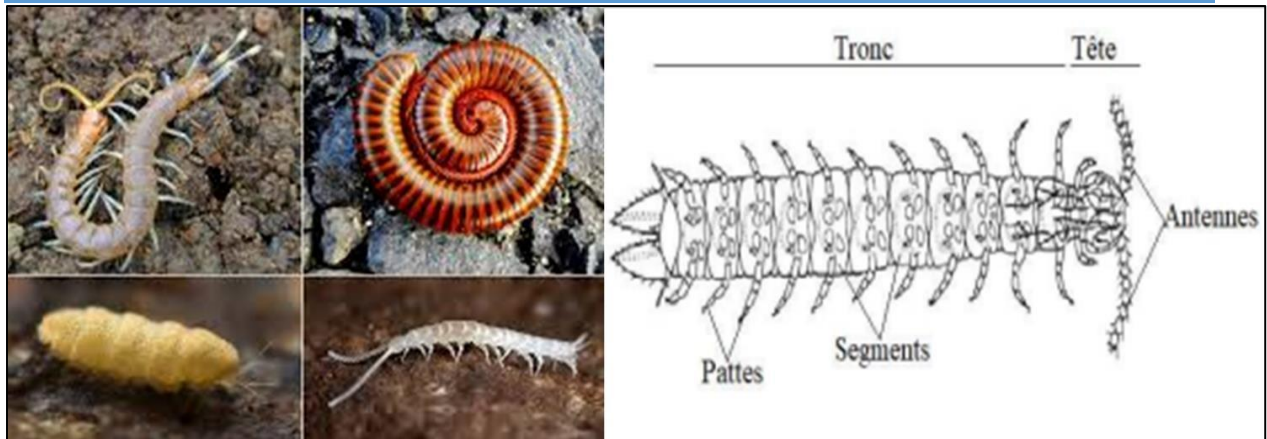


Figure 84 : Phylum des myriapodes.

🌍 Ecologie

Les myriapodes sont des animaux terrestres que l'on trouve dans divers habitats terrestres, y compris en hauteur sur les arbres, où ils se chauffent ou se nourrissent de feuillage. Ils sont présents partout sur la planète, avec les plus grandes espèces rencontrées dans les régions tropicales. En général, ils restent cachés pendant la journée et sont actifs la nuit.

Ils sont divisés en quatre classes : Les diplopodes, les chilopodes, les pauropodes et les Symphyles.

1. Classe des diplopodes

Les diplopodes, communément appelés « mille-pattes », sont une classe d'arthropodes myriapodes, nocturnes ou lucifuges. Ils se trouvent principalement sous les pierres, dans le sol, le bois mort en décomposition, et dans des environnements humides. Ils jouent un rôle dans la formation de l'humus et l'aération du sol.

Leur corps est composé de nombreux segments, dont les quatre premiers portent une paire de pattes, tandis que les segments suivants sont fusionnés par deux, portant deux paires de pattes chacun. Contrairement aux chilopodes, les diplopodes sont végétariens et détritivores, et n'ont pas de crochets venimeux. Pour se défendre, ils s'enroulent en spirale et sécrètent des substances répulsives et toxiques.

Parmi les diplopodes, *Illacme plenipes* détient le record du nombre de pattes avec 750, tandis que *Archispirostreptus gigas* est le plus long, atteignant 38,5 cm. Certaines espèces, comme *Tachypodoiulus niger* et *Ommatoiulus sabulosus*, pratiquent la périodomorphose. Chaque mue des diplopodes ajoute un nombre variable de nouveaux anneaux selon le groupe [Figure 85].



Figure 85 : Classe des diplopodes.

2. Classe des chilopodes

Les chilopodes possèdent une paire de pattes par segment et ont un corps de section transversale ovale. Ce sont des prédateurs dont les appendices du premier segment se sont transformés en crochets venimeux puissants. Majoritairement nocturnes, ils se déplacent sur les rondins de bois, les rochers et les débris dans les sols forestiers, et nécessitent des environnements humides pour survivre [Figure 86].



Figure 86 : Classe des chilopodes.

3. Classe des pauropodes

Les pauropodes sont des arthropodes au corps mou composé de 11 segments. Ils habitent la litière des sols forestiers, où ils se nourrissent de champignons, d'humus et de matière organique en décomposition [Figure 87].



Figure 87 : Classe des pauropodes.

4. Classe des Symphyles

Les symphyles sont de très petits myriapodes, mesurant de 2 à 10 mm. Ils possèdent de longues antennes et de 10 à 12 paires de pattes. Ces créatures vivent dans le sol et les débris de feuilles en décomposition [Figure 88].



Figure 88 : Classe des symphiles.

E. Sous-embanchement des hexapodes

Les hexapodes possèdent un corps divisé en trois tagmes et ont cinq paires d'appendices céphaliques ainsi que trois paires de pattes thoraciques.

Ils occupent tous les habitats terrestres et certains, comme les dytiques, nèpes et notonectes, sont adaptés à la vie aquatique. Ce sous-embanchement se divise en deux classes : les entognates et les insectes.

Avec plus d'un million d'espèces déjà découvertes et des estimations suggérant qu'il pourrait en exister entre 2 et 30 millions de plus, les hexapodes représentent environ 80 % des espèces animales connues. Ils se trouvent dans tous les climats et environnements.

1. Classe des entognates

Les entognates sont des hexapodes avec des pièces buccales dissimulées à l'intérieur de la tête. Ils possèdent des mandibules à articulation simple et des pattes avec des tarsi indivis [Figure 89].



Figure 89 : Classe des entognates.

2. Classe des insectes

Les insectes représentent la classe d'animaux terrestres ayant le plus grand succès en termes de diversité et de nombre d'individus. Ils se distinguent par leurs pièces buccales visibles, qui dépassent de la tête, des mandibules souvent dotées de deux points d'articulation, et des tubes de Malpighi bien développés [Figure 90].

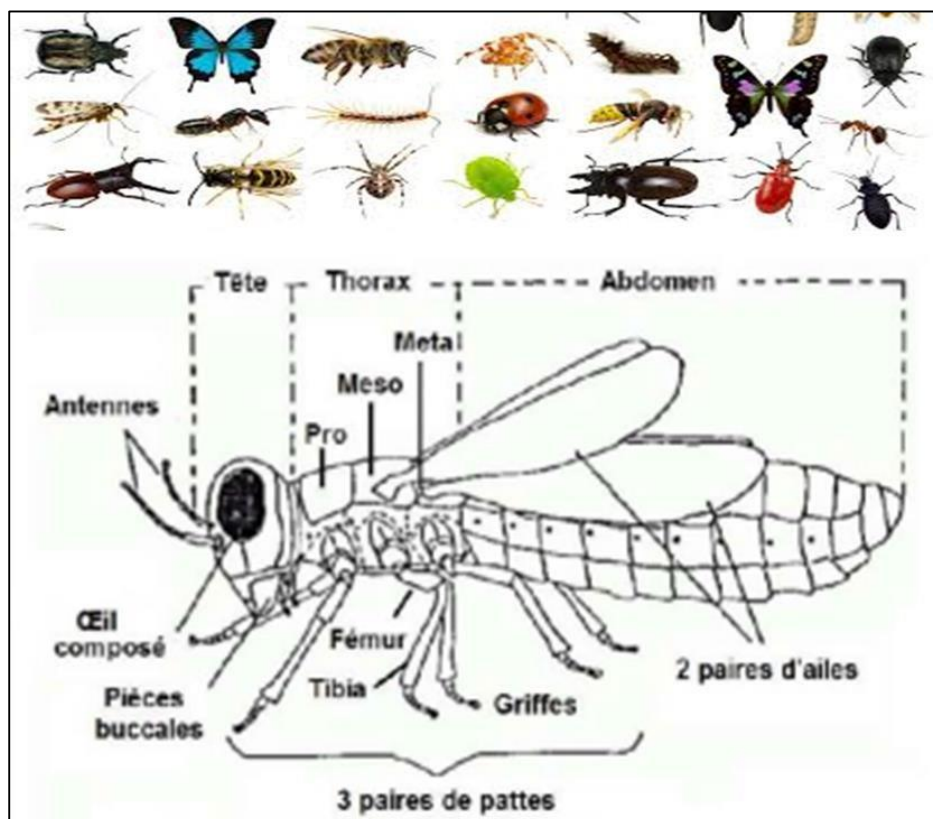


Figure 90 : Classe des insectes.

3.9. Embranchement Echinodermes

Les échinodermes (Echinodermata) forment un embranchement d'animaux marins benthiques présents à toutes les profondeurs océaniques. Composés d'environ 6 500 espèces exclusivement marines, ils se répartissent en cinq classes : étoiles de mer, ophiures, oursins, concombres de mer et lys de mer.

Ce groupe se distingue par plusieurs caractéristiques uniques : une symétrie pentaradiée (bien qu'ils soient biologiquement des bilatériens), un squelette externe constitué de plaques osseuses articulées et perforées de canalicules, et un système aquifère. En tant que deutérostomiens, les échinodermes sont étroitement liés aux chordés dans l'évolution.

En plus des espèces actuelles, les paléontologues ont identifié plusieurs milliers d'espèces éteintes, dont les traces fossiles remontent au Cambrien, il y a environ 500 millions d'années, en raison de leur squelette fortement calcifié qui favorise la fossilisation.

3.9.1. Morphologie générale

Les échinodermes sont des animaux marins caractérisés par un endosquelette dermique appelé « stéréome », constitué de monocristaux de calcite formant des spicules ou des plaques. Ces éléments squelettiques peuvent être mobiles ou soudés, comme le « test » des oursins, et sont souvent hérissés de piquants. Leur squelette est maintenu par des ligaments en collagène, permettant aux échinodermes de moduler la rigidité de leur corps à volonté, surtout chez les holothuries.

Les échinodermes présentent une symétrie pentaradiée (symétrie en cinq parties), surtout visible dans leur forme adulte, comme chez les étoiles de mer. Cependant, cette symétrie n'est pas toujours évidente chez toutes les espèces, comme les concombres de mer ou les oursins irréguliers. Internement et au stade embryonnaire, ils montrent une symétrie bilatérale, les rapprochant des chordés dans le groupe des deutérostomiens.

Ils possèdent un corps organisé en rayons radiaires, sans face dorsale ou ventrale, avec une face orale (où se trouve la bouche) et une face aborale (où se trouvent l'anus, les organes respiratoires et les gonades). Leur système nerveux est structuré autour de l'anneau périoral et des nerfs radiaires. Leur système vasculaire est réduit, mais ils ont un système aquifère unique, impliqué dans les échanges gazeux, la locomotion et la nutrition, alimenté par le madréporite.

Les échinodermes ont généralement une larve pélagique et un adulte benthique, avec des exceptions comme certains crinoïdes et holothuries pélagiques. Ils peuvent être sessiles ou vagiles, certains comme les ophiures et étoiles de mer étant capables de mouvements rapides. En développement, les échinodermes sont principalement constitués d'une tête, sans expression des gènes typiques des régions postérieures.

3.9.2. Classification

Les échinodermes se subdivisent en trois sous embranchement : Heterostelea, pelmatozoaires et euleuthérozoaires.

1. Sous embranchement des heterostelea

Il correspond à des formes entièrement fossiles.

2. Sous embranchement des pelmatozoaires

Les Pelmatozoa (ou Pelmatozoaires en français) constituent un sous-embranchement des échinodermes sessiles, bien que leur classification soit parfois controversée, certaines bases de données taxinomiques préférant le terme Crinozoa.

Les Pelmatozoaires sont des échinodermes caractérisés par une symétrie radiale, un corps en forme de coupe, et des appendices nourriciers qui émergent de cette coupe.

Les Pelmatozoaires sont principalement représentés par des formes fixées, telles que les crinoïdes, qui ont prospéré au cours du secondaire. Ces organismes possèdent un corps souvent vivement coloré, avec un pédoncule articulé constitué de pièces calcaires. Ce pédoncule, ancré dans le sédiment par des racines à sa base, supporte un calice également constitué de pièces calcaires, et porte cinq bras bifurqués servant à la collecte de nourriture.

Les formes mobiles, comme les comatules, disposent de cirres pour une fixation temporaire et possèdent dix bras très mobiles. Ces bras capturent le plancton et la matière organique en suspension pour les diriger vers la bouche.

Actuellement, les crinoïdes sont principalement trouvés dans les mers tropicales, notamment aux Philippines et en Indonésie, bien que certaines espèces puissent aussi vivre en eaux tempérées ou froides [Figure 91].

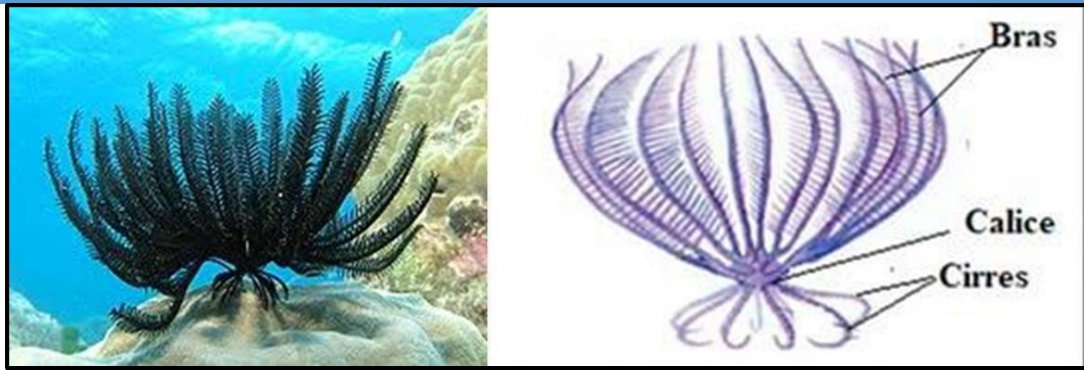


Figure 91 : Sous embranchement des pelmatozoaires.

3. Sous embranchement des Euleuthérozoaires

Regroupe la majorité des formes actuelles qui sont toutes libres .On distingue ces classes :

3-1- Classe des astérides ou étoile de mer

Les astérides sont des étoiles de mer qui peuvent avoir entre cinq et 50 bras, avec une taille moyenne de 15 cm, mais pouvant aller jusqu'à 80 cm. Leur corps central est constitué de plaques calcaires servant de squelette.

Sur la face dorsale, on trouve des structures ressemblant à des branchies, un orifice anal, et la plaque madréporique, essentielle pour la locomotion, la nutrition et l'oxygénation via le système aquifère. La face ventrale comporte un orifice buccal et des sillons menant aux bras, où se trouvent les pieds ambulacraires.

Les astérides, ou étoiles de mer, se nourrissent de divers aliments, qu'ils soient vivants ou morts, en les saisissant avec leurs bras (podias). Ils sont des prédateurs et régurgitent leur estomac pour capturer et digérer les proies. Leur capacité de régénération est plus rapide chez les bras plus longs et donc plus fragiles.

Les astérides sont gonochoriques, avec cinq gonades pour chaque sexe, situées en position interradiaire. Chaque gonade, divisée en deux lobes égaux, s'étend dans les bras adjacents. Les gonades sont blanches chez les jeunes et deviennent rouge-orangées à maturité. Les gamètes sont libérés par des gonoductes ciliés situés à la jonction des bras et du disque central. La fécondation a lieu dans l'eau de mer, et il n'y a pas de dimorphisme sexuel [Figure 92].

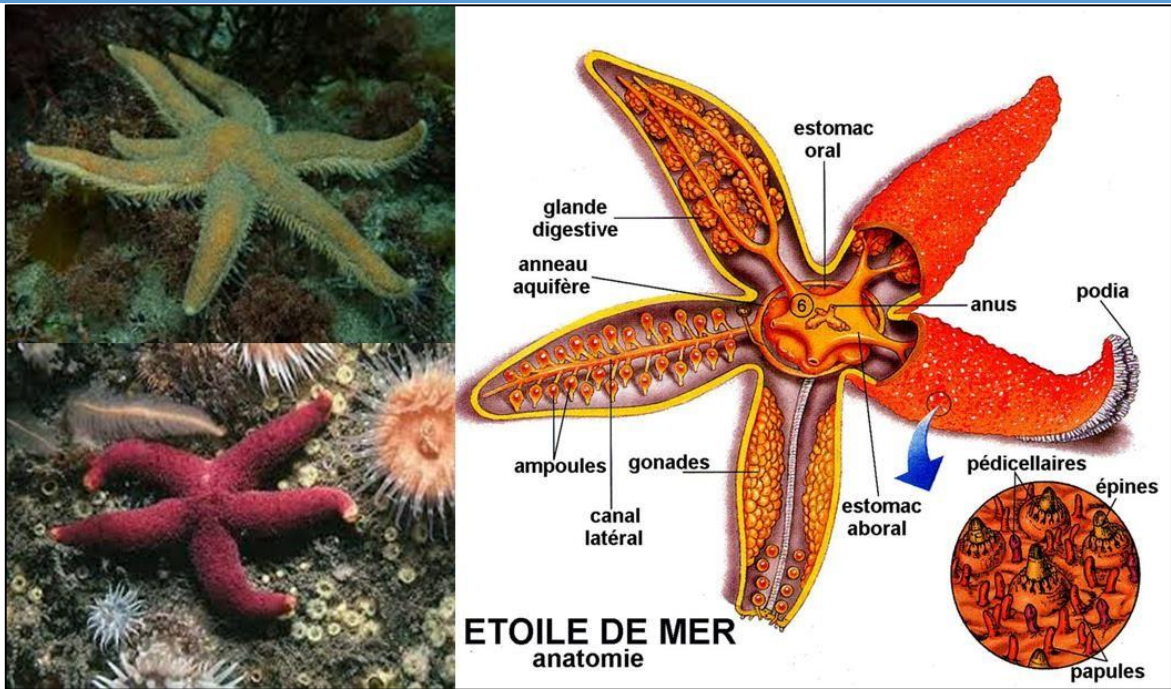


Figure 92 : Classe des astérides.

3.2. Classe des échinides ou oursin de mer

Les oursins, ou Échinoïdes, sont des animaux marins appartenant à la classe des Echinoidea dans l'embranchement des échinodermes. Ils sont souvent appelés « hérissons de mer » en raison de leur forme arrondie et de leur corps recouvert de piquants. Parfois, on les désigne aussi par l'expression plus ancienne de « châtaignes de mer ».

Comme les concombres de mer et les étoiles de mer, les oursins sont des organismes benthiques adultes qui passent par un stade larvaire planctonique.

Les oursins ont une forme généralement sphérique et légèrement aplatie. Leur corps est protégé par un squelette interne rigide appelé *test*, constitué de plaques calcaires soudées. À la surface du test, on trouve de grands piquants mobiles ainsi que trois autres types d'éléments : les piquants secondaires, plus petits ; les pédicellaires, petites pinces venimeuses utilisées pour la défense et le nettoyage ; et les pieds ambulacraires ou podias, qui, avec les grands piquants, assurent la locomotion.

La bouche est située sur la face inférieure du corps et est dotée de cinq dents formant la lanterne d'Aristote, un appareil masticateur complexe. L'anus est situé soit au centre de

la face supérieure (chez les oursins réguliers), soit sur le bord, près de la jonction des deux faces (chez les oursins irréguliers).

La plupart des oursins sont herbivores ou détritivores, bien que certaines espèces soient carnivores et se nourrissent d'invertébrés peu mobiles. La majorité des oursins ont des sexes séparés, mais quelques-uns sont hermaphrodites. La reproduction se fait par libération des ovules et des spermatozoïdes dans l'eau de mer, où la fécondation a lieu. La larve planctonique, appelée *échinopluteus*, constitue une étape clé du cycle de développement des échinides. Elle cherche un substrat approprié pour se fixer, puis subit une métamorphose qui lui confère la symétrie pentaradiée caractéristique des oursins adultes [Figure 93].

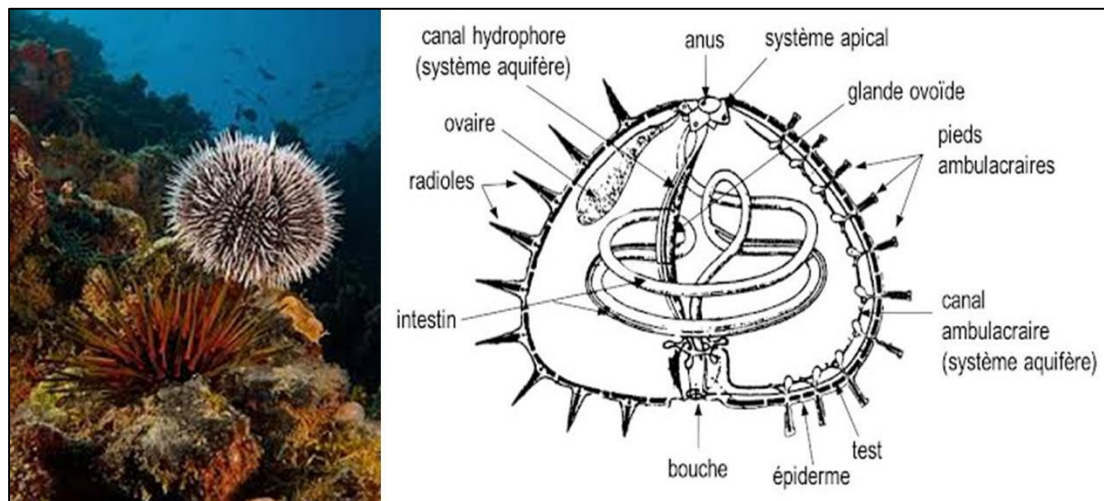


Figure 93 : Classe des échinides.

3.3. Classe des holothuries ou concombres de mer

Les Holothuries (Holothuroidea), également connues sous le nom de concombres de mer ou bêches de mer, sont une classe d'animaux marins de l'embranchement des échinodermes. Elles possèdent un corps mou, allongé et oblong, avec un cercle de tentacules autour de la bouche. Bien que majoritairement benthiques, elles occupent divers habitats, de la surface aux abysses, et se nourrissent de particules nutritives qu'elles capturent avec leurs tentacules buccaux.

Les holothuries mesurent généralement de 10 à 30 cm de long, mais certaines espèces, comme le cordon mauresque, peuvent dépasser 3 mètres. Leur corps, recouvert

d'un tégument ressemblant à du cuir, peut être lisse ou hérissé de petites papilles verruqueuses, avec des couleurs allant du terne au très voyant. Elles se déplacent lentement sur le fond marin à une vitesse d'environ 1 cm par minute et sont capables de s'enterrer dans le sable. Leur respiration se fait par un système respiratoire qui extrait l'oxygène dissous de l'eau, aspirée par la bouche et expulsée par l'anus à travers des mouvements de dilatation et de rétraction de la cavité cloacale.

Les holothuries se nourrissent de détritus, d'algues et d'organismes en suspension, capturant leur nourriture avec 10 à 30 petits tentacules ramifiés recouverts de mucus. Elles se reproduisent par la libération d'ovules et de spermatozoïdes dans l'eau, mais peuvent également se régénérer à partir de fragments de leur corps [Figure 94].

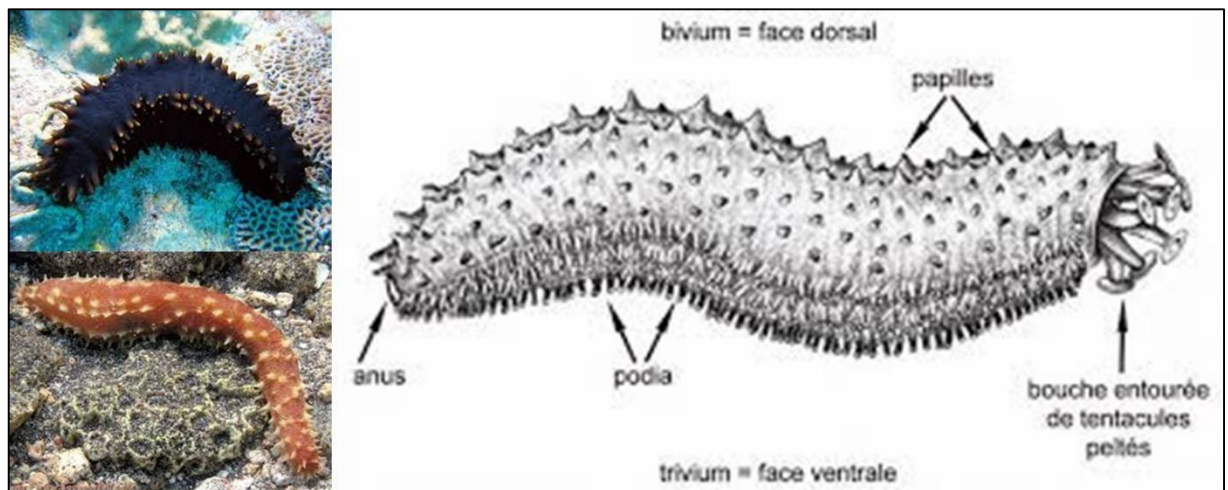


Figure 94 : Classe des holothurides.

3.4. Classe des ophiurides

Les ophiures, une classe d'échinodermes, se caractérisent par leur disque central et leurs cinq bras longs et souples, parfois ramifiés, qui se déplacent de manière serpentine. Leurs bras, constitués de petits disques calcaires articulés, leur permettent des mouvements rapides et ondulants. Elles possèdent un corps central et une bouche, mais pas d'anus ; les déchets sont expulsés par la bouche. Les ophiures se nourrissent de détritus, de petits animaux et, parfois, de proies plus grosses.

Dioïques, les ophiures ont des gonades dans des bourses où les gamètes sont libérés. La fécondation se fait dans l'eau, et les embryons sont souvent protégés et nourris par le parent. Leur larve, l'ophiopluteus, est planctonique et se fixe au fond après métamorphose. Les ophiures peuvent aussi autotomiser et régénérer leurs bras. Certaines espèces, comme les Euryales, sont sédentaires et possèdent des bras plus longs et ramifiés. Elles varient en couleur, et certaines sont bioluminescentes [Figure 95].

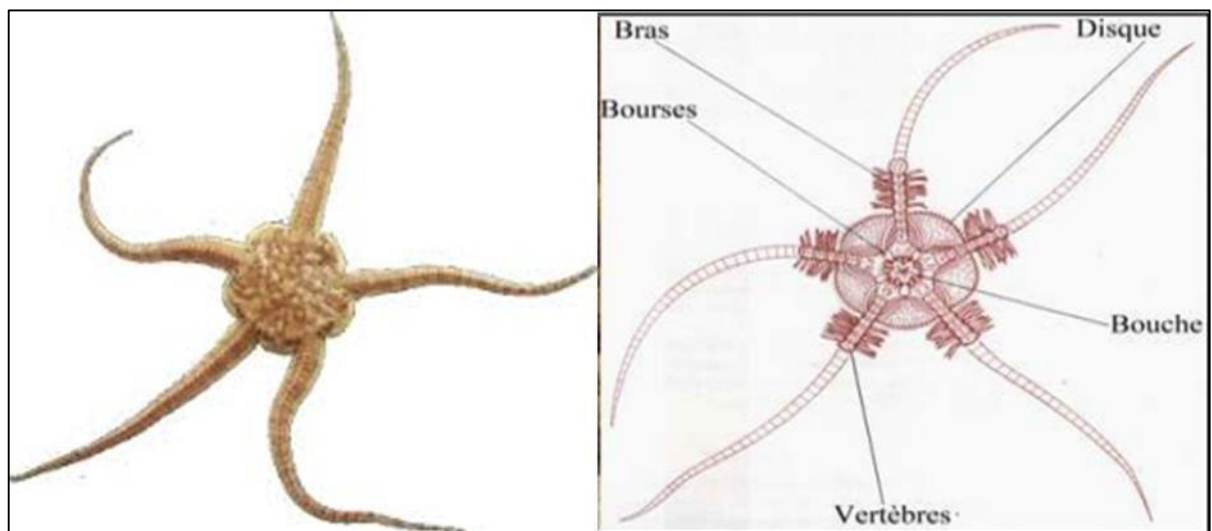


Figure 95 : Classe des ophiurides.

3.10. Embranchement Chordés

Les chordés, ou cordés (Chordata), sont un embranchement d'animaux appartenant au clade des bilatériens et au super-embranchement des deutérostomiens. Leur nom provient de la notochorde, une structure cartilagineuse située sur le côté dorsal de l'animal, constituant la forme la plus simple d'un squelette interne. Avec plus de 65 000 espèces, les chordés sont l'un des embranchements les plus diversifiés du règne animal, après les arthropodes, qui regroupent plus de 80 % des espèces connues avec environ 1,5 million d'espèces recensées.

Les chordés possèdent un système nerveux en forme de tube situé sur la partie dorsale, caractéristique des épineuriens, contrairement aux protostomiens qui sont hyponeuriens. Ce système nerveux se forme par neurulation, une invagination de l'épiblaste dorsal. Un autre trait distinctif des chordés est un pharynx fenestré, percé de fentes

branchiales, jouant un rôle respiratoire au moins à l'état embryonnaire. Leur appareil circulatoire est clos, avec un cœur composé de plusieurs cavités, permettant une circulation sanguine efficace pour l'approvisionnement en dioxygène des organes [Figure 96].

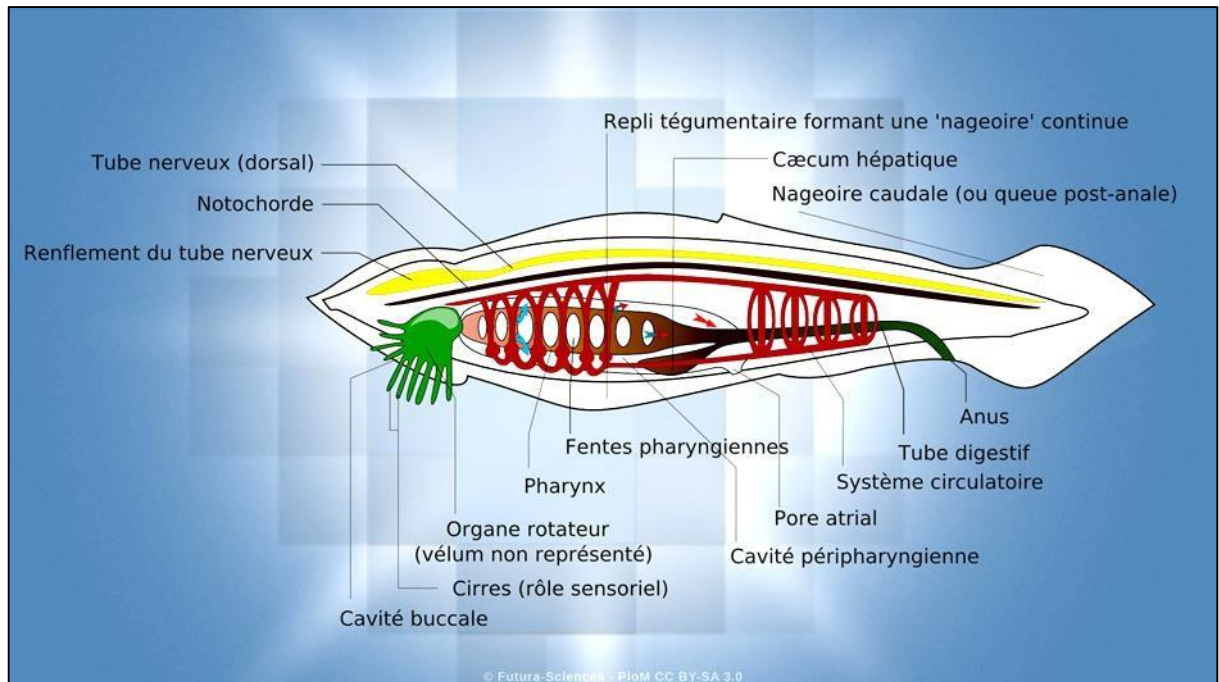


Figure 96 : Organisation générale d'un chordé.

Les chordés sont définis par plusieurs caractéristiques distinctives :

- ✚ *Fentes pharyngiennes* : Ces ouvertures relient la région pharyngienne du tractus digestif à l'extérieur. Chez certains chordés, elles forment des poches pharyngiennes qui ne s'ouvrent pas vers l'extérieur. Les premiers chordés utilisaient ces fentes pour filtrer la nourriture, tandis que d'autres chordés actuels ont développé des branchies dans ces poches pour les échanges gazeux respiratoires.
- ✚ *Tube neural dorsal* : Situé le long de l'axe du corps, au-dessus de la chorde, il s'élargit généralement en un cerveau à l'avant. Ce système nerveux central est associé à des fonctions complexes de perception sensorielle, d'intégration, et de réponse motrice.
- ✚ *Queue postnatale* : Prolongement du corps au-delà de l'orifice anal, la queue est soutenue par la notochorde ou la colonne vertébrale.
- ✚ *Endostyle ou glande thyroïde* : Présente dans la région ventrale de certains prochordés et larves de lamproies, l'endostyle sécrète du mucus pour

capturer les particules alimentaires. Chez les lamproies adultes et d'autres chordés, cette structure évolue pour devenir la glande thyroïde, une glande endocrine.

3.10.1. Classification des Chordés

Les chordés sont divisés en trois sous embranchement : Les urochordés ou tuniciers, les céphalochordés et les craniates.

1. Sous embranchement des urochordés ou tuniciers

Les tuniciers, également appelés Urochordés, sont des animaux appartenant à l'embranchement des Chordés. Ce groupe, comprenant environ 3 000 espèces, est caractérisé par la présence d'une tunique protectrice produite par l'épiderme.

Les tuniciers passent par un stade larvaire propre aux Chordés et alternent entre une vie en nage libre et une forme fixée au support. Certaines espèces sont solitaires, tandis que d'autres forment des colonies par bourgeonnement. Bien que leur apparence soit simple, des études ont révélé qu'ils sont les plus proches parents des vertébrés. Ils présentent à l'état larvaire, une chorde seulement dans la queue. Ils se divisent en trois classes : les ascidies, les appendiculaires (larvacés) et les thaliacés.

1.1. Classe des ascidies

Les ascidies (Ascidiacea) sont une classe d'animaux marins appartenant au sous-embranchement des tuniciers (Tunicata, autrefois Urochordata). Considérées comme proches des vertébrés dans l'évolution, elles se répartissent en deux types morphologiques : les ascidies solitaires et les ascidies coloniales. Leur corps, généralement en forme d'outre, est recouvert d'une tunique faite de cellulose.

À l'état adulte, les ascidies sont des animaux benthiques filtreurs, se nourrissant de particules nutritives présentes dans l'eau qui les traverse via deux ouvertures : le siphon buccal (inhalant) pour l'entrée de l'eau et le siphon atrial (exhalant) pour son rejet, permettant également les échanges gazeux. Leur corps est recouvert d'une tunique composée de tunicine, une forme de cellulose rare chez les animaux. Le pharynx est doté de nombreuses fentes branchiales, et le système nerveux de l'adulte est réduit à un ganglion cérébral. Le cœur en forme de tube alterne le sens du flux sanguin toutes les deux à trois minutes. La larve, ressemblant à un petit têtard, possède un tube nerveux et une corde dorsale, qui disparaissent après sa métamorphose en adulte [Figure 97].

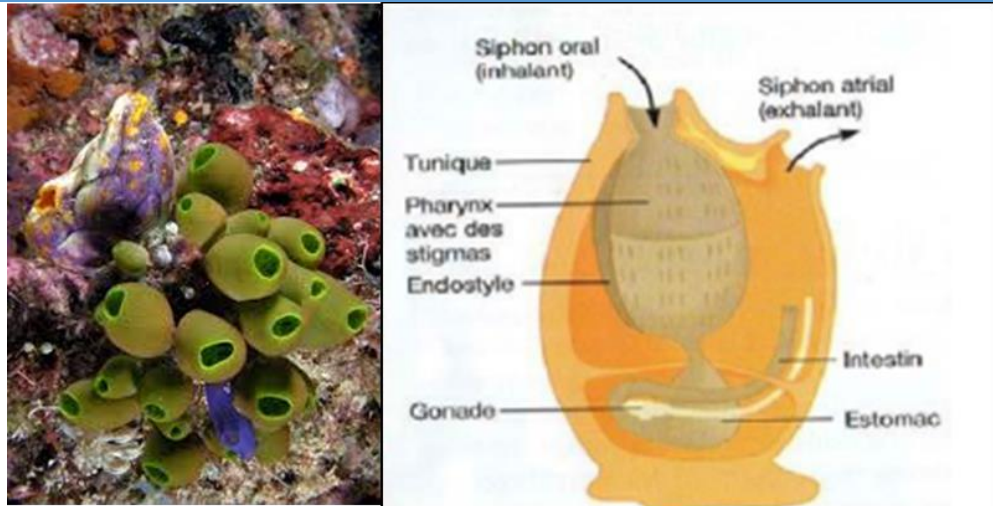


Figure 97 : Organisation générale d'une ascidie.

Les ascidies sont hermaphrodites, avec testicules et ovaires libérant leurs gamètes dans la chambre péripharyngienne pour l'incubation. Leur larve, ressemblant à un petit têtard, nage brièvement avant de se fixer et de subir une métamorphose. La reproduction asexuée et la régénération sont particulièrement importantes chez les formes coloniales.

1.2. Classe des appendiculaires

Les appendiculaires adultes sont des animaux planctoniques de 3 mm de long, dotés d'une longue queue avec une chorde. Ils possèdent une tunique muqueuse polysaccharidique semblable à la chitine, avec trois orifices : une bouche, un anus et un spiracle. Enveloppés d'une gelée délicate, certaines espèces sont complètement recouvertes. Ils filtrent le plancton marin pour se nourrir. Les appendiculaires sont hermaphrodites, avec un ovaire et deux testicules, les testicules mûrissant avant l'ovaire. Les œufs, très petits, se développent en dehors du corps maternel [Figure 98].



Figure 98 : Classe des appendiculaires.

1.3. Classe des thaliacés

Ils sont des tuniciers planctoniques, souvent appelés salpes, qui se déplacent en nageant librement dans l'océan. Contrairement à d'autres tuniciers comme les ascidies, les adultes de ces espèces n'ont pas de queue, et leur corps prend la forme de petits tonnelets transparents. Une des caractéristiques distinctives de ces organismes est la position de leurs siphons : le siphon buccal, par lequel l'eau entre, est situé à l'exact opposé du siphon cloacal, par lequel l'eau est expulsée. Cette disposition permet une propulsion efficace et contribue à leur mode de déplacement.

Ces animaux planctoniques existent sous forme solitaire ou coloniale. Les formes coloniales sont souvent reliées entre elles pour former des chaînes spectaculaires, flottant librement dans la colonne d'eau.

Le cycle de reproduction des salpes est particulièrement intéressant, car il comprend une alternance entre générations sexuées et asexuées. La phase sexuée produit des œufs par reproduction sexuelle, tandis que la phase asexuée permet la multiplication rapide des individus par bourgeonnement, ce qui permet de former de grandes colonies en peu de temps. Cette alternance de générations leur permet de s'adapter rapidement aux conditions environnementales changeantes, maximisant ainsi leurs chances de survie dans les océans [Figure 99].

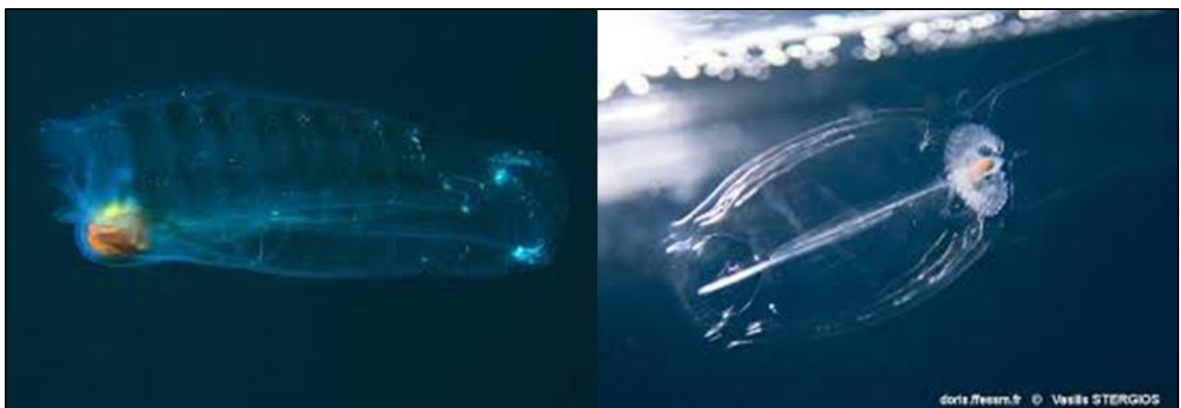


Figure 99 : Classe des thaliacés.

2. Sous embranchement des céphalochordés

Les céphalochordés représentent un sous-embranchement des Chordés, représenté principalement par les amphioxus ou lancettes. Ces petits animaux marins, au corps allongé

et fusiforme, se distinguent par la présence de caractéristiques typiques des Chordés tout au long de leur vie, telles qu'une notochorde qui s'étend sur toute la longueur du corps, un tube nerveux dorsal, et des fentes pharyngiennes. Ils vivent partiellement enfouis dans le sable, laissant émerger leur tête pour filtrer les particules alimentaires présentes dans l'eau. Contrairement aux vertébrés, ils ne possèdent pas de colonne vertébrale, mais leur structure anatomique primitive offre un aperçu de l'évolution des vertébrés. Les céphalochordés jouent un rôle important dans les études de l'évolution en raison de leur position phylogénétique proche de la lignée des vertébrés.

Leur corps est allongé et latéralement comprimé. Ils possèdent les cinq traits caractéristiques des Chordés :

- La présence d'une notochorde, une structure dorsale cylindrique et allongée, jouant un rôle de soutien.
- Un tube nerveux dorsal, situé au-dessus de l'intestin et de la chorde, en forme de tube (épinuriens).
- Des fentes pharyngiennes, aussi appelées pharyngotrèmes.
- Un endostyle, un repli situé sur la face ventrale du pharynx qui sécrète du mucus pour transporter les particules alimentaires vers le tube digestif.
- Une queue située à l'arrière de l'anus [Figure 100].

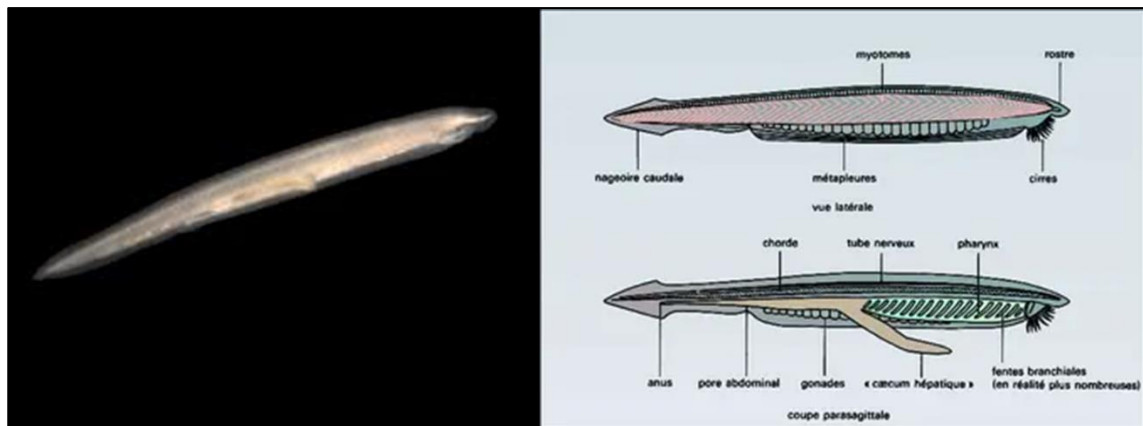


Figure 100 : Organisation générale des céphalochordés.

3. Sous embranchement des craniates

Les Craniata (craniés ou craniates en français) sont un clade des chordés possédant un crâne cartilagineux ou osseux protégeant la partie antérieure du système nerveux.

Les crâniates se distinguent des autres chordés par l'apparition de caractéristiques nouvelles liées à leur évolution avancée. Parmi celles-ci, on note la présence d'un crâne qui protège le cerveau, les organes olfactifs, les yeux, et l'oreille interne. De plus, un tissu embryonnaire unique appelé crête neurale contribue à la formation de diverses structures, notamment les cellules nerveuses sensorielles et certains éléments du squelette et du tissu conjonctif. Les crâniates se divisent en deux infra-embranchements : les hyperotrètes et les vertébrés.

3.1. Infra-embranchement des hypérotètes

Les hypérotètes, ou myxines, sont des craniates à apparence vermiforme, dépourvus de mâchoires et de vertèbres. Leurs yeux sont situés sous la peau, et ils possèdent une seule nageoire caudale. La bouche est équipée de plaques dentigères, soutenues par un ensemble de cartilages et de muscles, qui forment un appareil lingual utilisé pour mordiller et aspirer les proies.

Exclusivement marins, les myxines se trouvent dans les eaux froides des hémisphères Nord et Sud, où elles vivent enfouies dans le sable et ne sortent que pour se nourrir d'invertébrés à corps mou et de poissons morts. Leur reproduction et développement restent encore mal connus [Figure 101].

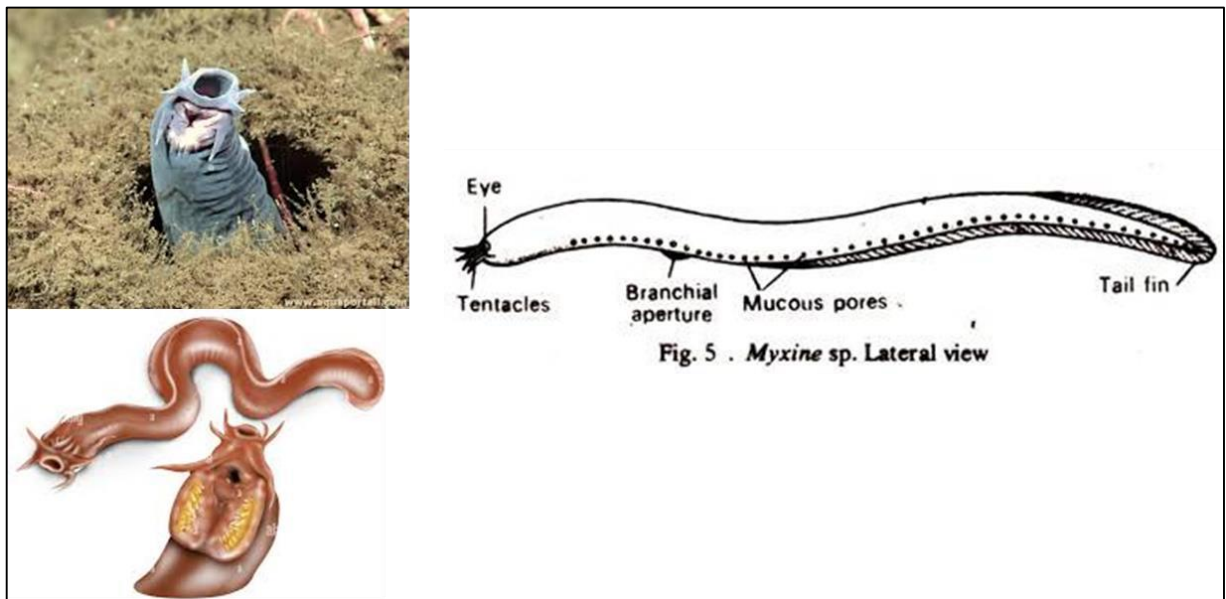


Figure 101 : Organisation générale d'une myxine.

3.2. Infra-embranchement des vertébrés

Ils sont caractérisés par la présence de vertèbres entourant le tube neural qui joue le rôle d'axe squelettique primaire. Ils se divisent en 2 super classes : les agnates et les gnatostomes.

3.2.1. Super classe des agnates

Ils sont des vertébrés dépourvus de mâchoire. Actuellement, la super classe comprend une seule classe : les pétromyzontidés.

✚ Classe des pétromyzontidés

Les pétromyzontidés, vertébrés au corps allongé, se distinguent par l'absence de nageoires paires. Leur tête est équipée d'une ventouse entourant la bouche, et présente dorsalement un petit orifice naso-hypophysaire qui ouvre sur un organe olfactif situé dans un tube aveugle. Leur anatomie comprend également sept orifices branchiaux latéraux et une ou deux nageoires dorsale et caudale.

À l'état adulte, les pétromyzontidés habitent des environnements marins, tandis que leurs larves se développent en eau douce. En tant qu'ectoparasites, ils se nourrissent principalement du sang de poissons ou de cétacés. Les larves, quant à elles, capturent leur nourriture par filtration [Figure 102].

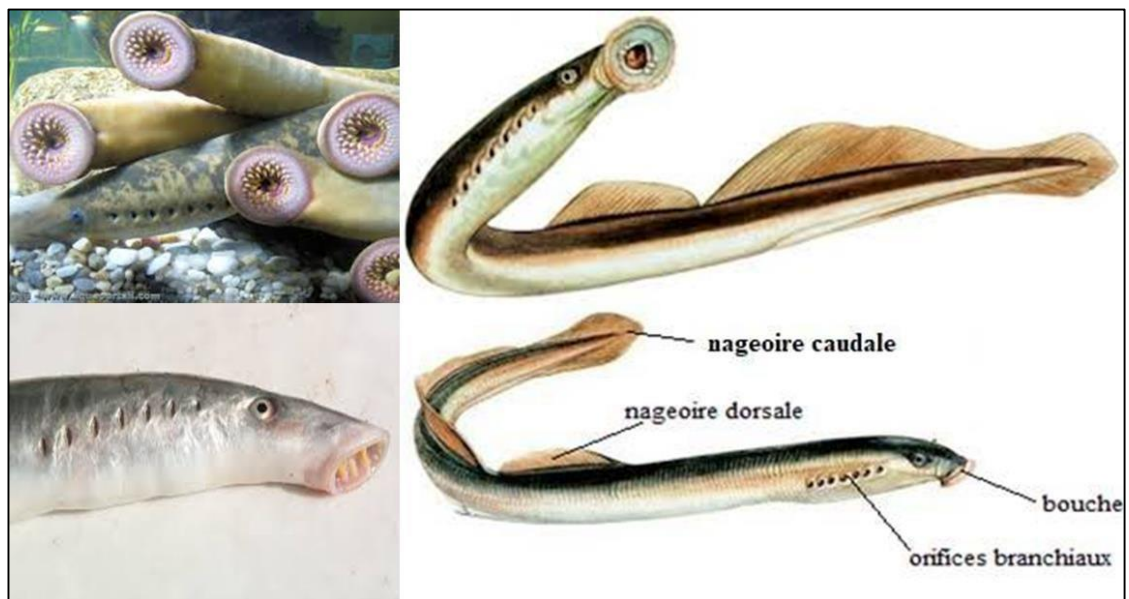


Figure 102 : Organisation générale d'un pétromyzontide.

3.2.2. Super classe des gnatostomes

Les gnathostomes, ou vertébrés à mâchoires, sont un groupe évolutif majeur dans le règne animal, caractérisé par la présence de mâchoires articulées. Ce groupe inclut une grande diversité d'animaux, allant des poissons aux amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères.

Les gnathostomes possèdent une structure squelettique plus complexe que les agnates, avec des mâchoires formées par la dérivation des arcs branchiaux. Ils se distinguent également par la présence de paires de nageoires ou de membres, qui leur offrent une meilleure mobilité et une plus grande diversité de modes de vie. Les gnathostomes jouent un rôle clé dans les écosystèmes aquatiques et terrestres, en raison de leur capacité à s'adapter à différents environnements et de leur diversité alimentaire.

Ils renferment ces classes :

❖ **Classe des chondrichthyens**

Les chondrichthyens, ou poissons cartilagineux, sont un groupe de gnathostomes caractérisés par un squelette entièrement cartilagineux, plutôt que minéralisé comme chez les poissons osseux.

Ce groupe comprend les requins, les raies et les chimères. Les chondrichthyens possèdent des mâchoires articulées et des dents acérées, souvent disposées en plusieurs rangées qui se remplacent continuellement. Leur peau est recouverte de petites écailles denticulées appelées denticules dermiques, qui leur confèrent une texture rugueuse. Ils sont également dotés de fentes branchiales externes pour la respiration. Leur reproduction peut être ovipare, vivipare ou ovovivipare, et ils présentent une grande diversité d'adaptations écologiques et comportementales.

Ils sont le plus souvent prédateurs d'autres poissons. Certaines espèces se nourrissent de plancton (requin pèlerin), d'autres de mollusques (certaines raies) [Figure 103].

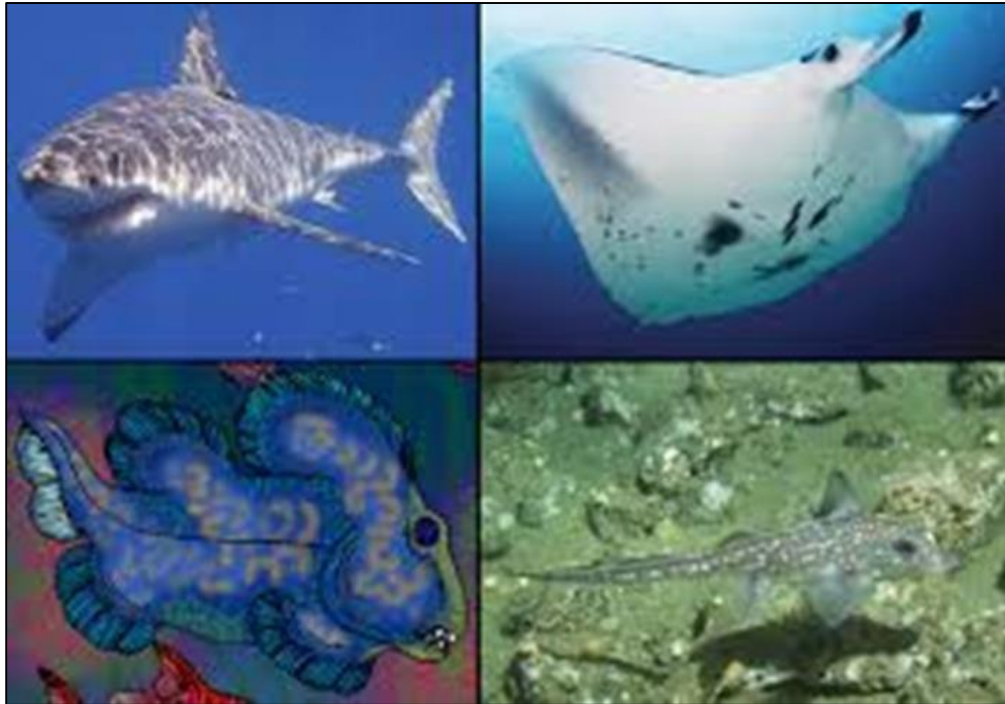


Figure 103 : Classe des Chondrichthyens.

❖ Classe des actinoptérygiens

Les actinoptérygiens, ou poissons à nageoires rayonnées, forment un groupe de poissons osseux caractérisés par des nageoires constituées de rayons fins et segmentés, contrairement aux nageoires charnues des sarcoptérygiens. Ce groupe, le plus diversifié parmi les poissons, comprend des espèces telles que les saumons, les perches, et les poissons-lune.

Les actinoptérygiens possèdent un squelette osseux et une vessie natatoire qui leur permet de réguler leur flottabilité. Leur peau est généralement recouverte d'écailles, et ils ont une mâchoire articulée qui leur permet une grande variété de modes de nutrition. Ces poissons ont évolué pour occuper divers habitats aquatiques, des eaux douces aux milieux marins. Leur système respiratoire utilise des branchies, et leur cycle de reproduction varie considérablement selon les espèces [Figure 104].



Figure 104 : Classe des actinoptérygien.

❖ Classe des sarcoptérygiens

Les sarcoptérygiens, ou poissons à nageoires charnues, forment un groupe distinct de poissons osseux caractérisés par leurs nageoires robustes et épaisses, soutenues par des os distincts et des structures musculaires. Contrairement aux actinoptérygiens, leurs nageoires sont plus charnues et permettent une plus grande flexibilité, ce qui est crucial pour les mouvements en milieu aquatique complexe.

Ce groupe inclut les poissons comme les coelacanthes et les dipneustes, ainsi que les ancêtres des tétrapodes, qui ont évolué pour coloniser les environnements terrestres. Les sarcoptérygiens possèdent un squelette osseux et une vessie natatoire [Figure 105].



Figure 105 : Classe des sarcoptérygiens.

❖ Classe des amphibiens

Ils sont des vertébrés à métamorphose complexe qui vivent à la fois dans l'eau et sur terre. Ils se distinguent par leur peau humide, qui joue un rôle crucial dans la respiration cutanée, et par leur cycle de vie biphasique, comprenant une phase aquatique larvaire et une phase terrestre adulte.

Les amphibiens sont subdivisés en trois ordres principaux : les Anoures (grenouilles et crapauds), les Urodèles (salamandres et tritons), et les Apodes (cécilies). Leur peau est souvent recouverte de mucus, ce qui les aide à maintenir leur hydratation et à absorber l'oxygène.

Ils sont caractérisés par

- Une double vie aquatique à l'état larvaire avec respiration branchiale , puis terrestres avec respiration pulmonaire .
- Une peau à sécrétion muqueuses
- Un cœur à 2 oreillettes .

- La larve habituellement aquatique se transforme en adulte après métamorphose
- Une vertèbre cervicale et une vertèbre sacrée [Figure 106].



Figure106 : Classe des amphibiens.

❖ Classe des reptiles

Ils sont des vertébrés terrestres qui se caractérisent par leur peau écailleuse, imperméable, adaptée à la vie terrestre. Contrairement aux amphibiens, les reptiles ne nécessitent pas d'eau pour leur reproduction, car leurs œufs sont protégés par une coquille qui empêche la déshydratation. Leur corps est généralement recouvert d'écailles kératiniques, et ils possèdent des poumons efficaces pour une respiration aérienne. Les reptiles sont des animaux ectothermes, ce qui signifie qu'ils régulent leur température corporelle en fonction de leur environnement.

Les reptiles actuels se caractérisent par plusieurs traits communs :

- **Peau sèche et écailleuse** : Leur peau est recouverte d'écailles épidermiques.
- **Œufs amniotiques** : Ils pondent des œufs protégés par des membranes extraembryonnaires, qui préservent l'embryon de la dessiccation, absorbent les chocs et facilitent les échanges gazeux.

- **Poïkilothermie** : Ils sont ectothermes, ce qui les rend dépendants des températures environnementales. Ils préfèrent les régions chaudes et ralentissent leur métabolisme en hiver dans les zones tempérées.
- **Rein métanéphrique** : Leur système urinaire comprend des reins métanéphriques.
- **Absence de métamorphose** : Ils ne subissent pas de métamorphose au cours de leur développement.
- **Crâne avec condyle occipital** : Leur crâne possède un point d'articulation avec la colonne vertébrale, le condyle occipital.
- **Respiration pulmonaire** : La respiration se fait exclusivement par les poumons.
- **Fécondation interne** : La reproduction se fait par fécondation interne.

Les reptiles se divisent en quatre ordres principaux : les Chéloniens (tortues et tortillons), les Crocodiliens (crocodiles, alligators et gavials), les Sphénodontiens (tuataras), et les Squamates (serpents et lézards) [Figure 107].

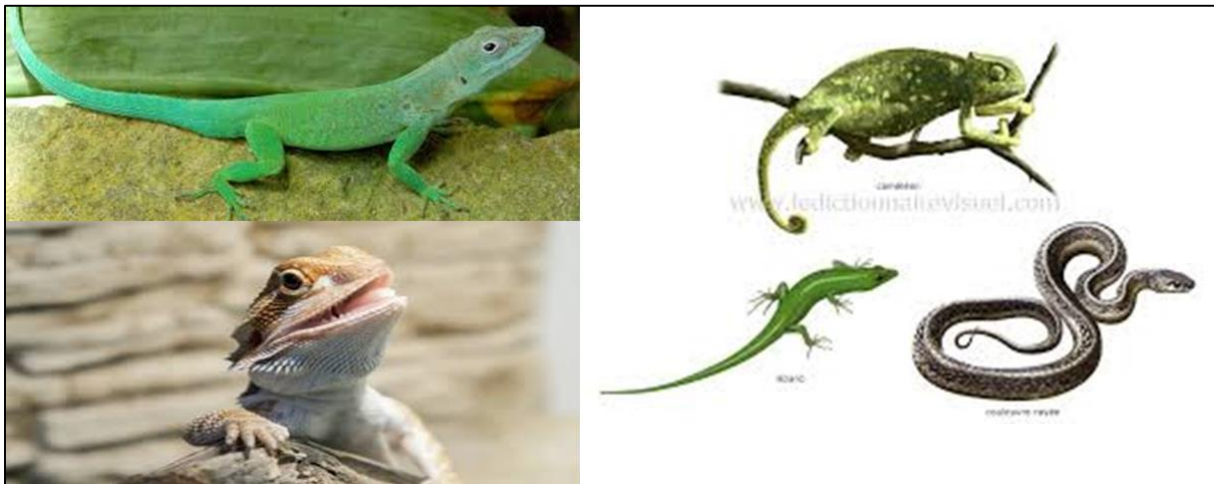


Figure 107 : Classe des reptiles.

❖ Classe des oiseaux

Les oiseaux forment un groupe distinct de vertébrés spécialisés, adaptant leur corps au vol. Ils sont des amniotes dotés d'ailes et de plumes, et sont endothermes, ce qui leur permet de réguler leur température interne. Leur colonne vertébrale est modifiée pour

faciliter le vol, et leurs os sont légers, creux et remplis d'air. Les mâchoires des oiseaux sont remplacées par un bec corné. Ils occupent une grande variété d'environnements, et leurs régimes alimentaires varient : la plupart sont carnivores ou granivores, et très rarement herbivores. Les oiseaux pondent des œufs et présentent des comportements complexes, incluant des migrations saisonnières parmi les plus étendues du règne animal.

Les oiseaux se subdivisent en 3 sous classes : Les ratites, les impennes et les carinates [Figure 108].

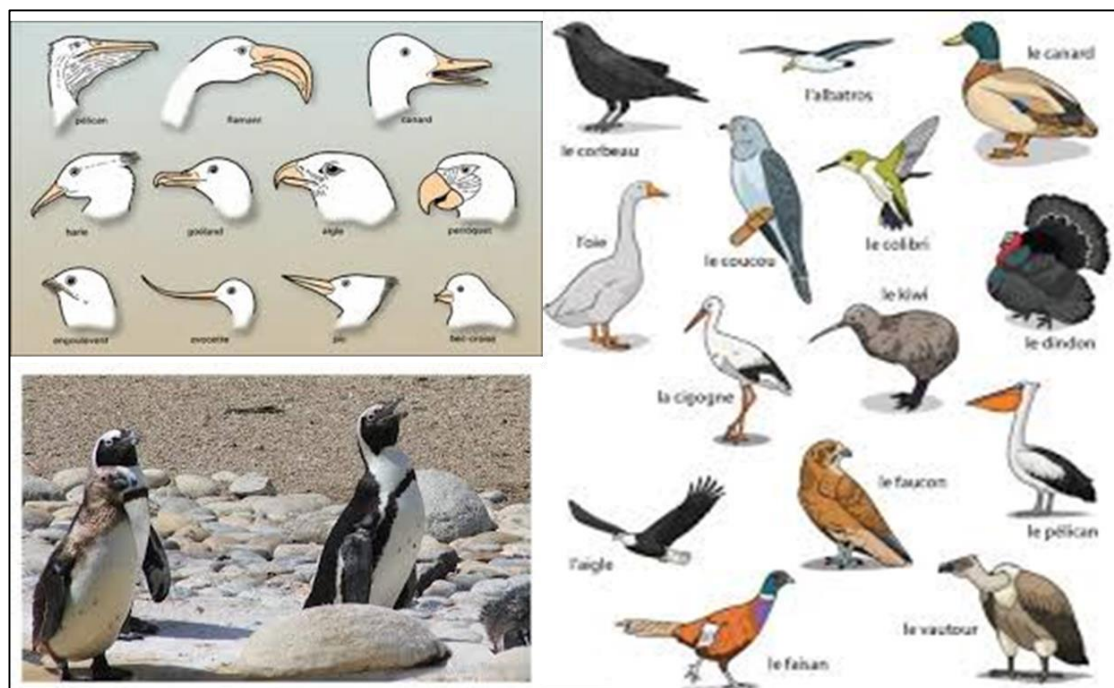


Figure 108 : Classe des oiseaux.

❖ Classe des mammifères ou mammaliens

La classe des mammifères, ou mammaliens, regroupe des vertébrés caractérisés par plusieurs traits distinctifs. Ils se distinguent par la présence de poils, qui offrent une protection et une régulation thermique, ainsi que par les glandes mammaires, qui permettent aux femelles d'allaiter leurs petits. Les mammifères possèdent un système nerveux complexe et un cerveau particulièrement développé, ce qui leur confère des capacités cognitives avancées. Leur système circulatoire est à double circulation, avec un cœur à quatre chambres qui sépare complètement le sang oxygéné du sang désoxygéné. Les mammifères ont des dents spécialisées adaptées à leur régime alimentaire, qu'ils soient herbivores, carnivores ou omnivores. La plupart sont vivipares, donnant naissance à des

jeunes développés à l'intérieur du corps maternel, bien que certains pondent des œufs. Les mammifères sont présents dans divers habitats terrestres et aquatiques.

Les mammifères se divisent en trois sous classes : Les protothériens ou monotrèmes, les métathériens et les euthériens [Figure 109].

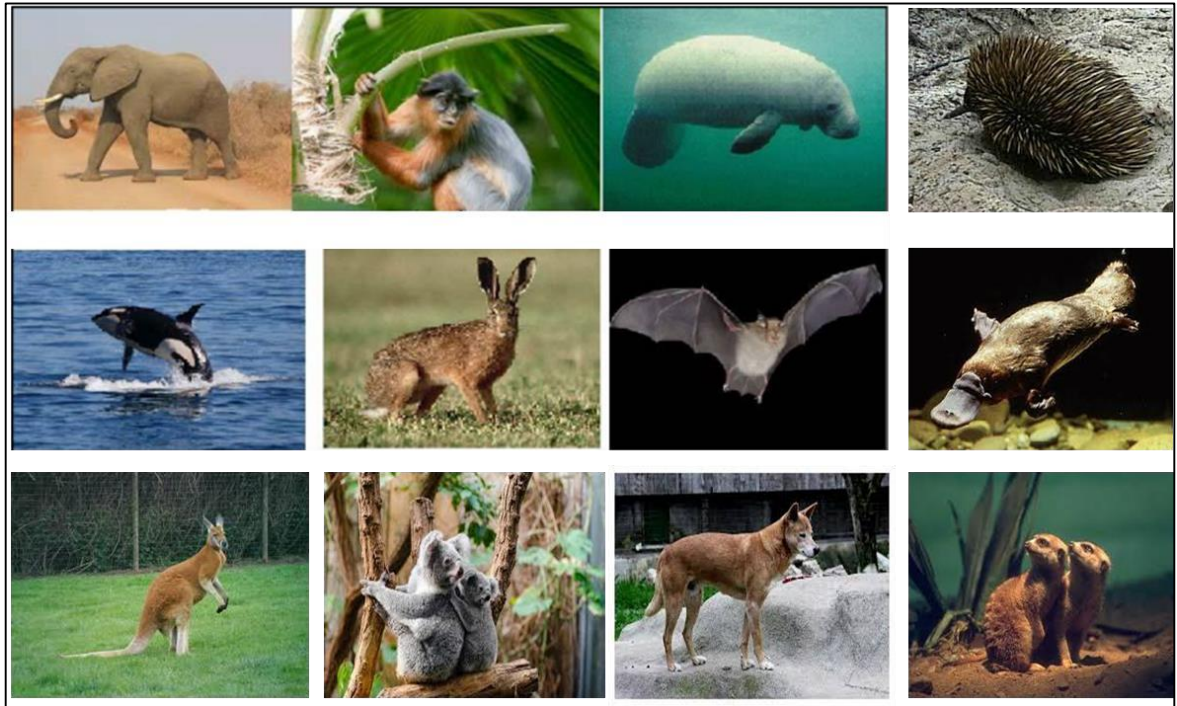


Figure 109 : Classe des mammifères.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Delage Y & Hérourard E. 1896. Traité de Zoologie concrète. Tome I. La cellule et les Protozoaires. Reinwald, Schleicher, Paris.

Dinis MT. 1986. Quatre Soleidae de l'estuaire du Tage. Reproduction et croissance. Essai d'élevage de *Solea senegalensis* Kaup., These Doctorat, Université Bretagne Occidentale, Brest. 357 pp.

Durchon M. 1971. La périodicité de la reproduction chez les néréidiens et ses problèmes. Bulletin de la Société Zoologique de France 96 (3) : 283-300.

Englund PT & Sher A. 1988. The Biology of Parasitism. A Molecular and Immunological Approach. Alan R. Liss, New York.

Goldsmith R & Heyneman D. 1989. Tropical Medicine and Parasitology. Appleton and Lange, East Norwalk, CT.

Kotler DP & Orenstein JM. 1994. Prevalence of Intestinal Microsporidiosis in HIV-infected individuals referred for gastrointestinal evaluation. J Gastroenterol 89: 1998.

Lecointre G. & Le Guyader H. 2001. Classification phylogénétique du vivant. Belin, Paris.

Lee JJ, Hutner SH & Bovee EC. 1985. An Illustrated Guide to the Protozoa. Society of Protozoologists, Lawrence, KS.

Neuhoff HG. 1979. Effects of seasonally varying factors on a *Nereis succinea* population (polychaeteta, Annelida). Marine Ecology Progress Series 1: 263-268.

Neva FA & Brown H. 1994. Basic Clinical Parasitology, 6th edition, Appleton & Lange, Norwalk, CT.

Olive PJW. 1994. "Polychaete as a world resource: a review of pattern of exploitation as sea angling baits and the potential for aquaculture based production". In: Actes de la "4ème Conférence internationale des Polychètes". Memoires du Muséum National d'Histoire Naturelle.

Olive PJW, Bury N, Cowin PBD & Smithard RR. 1991. Commercial production of polychaetes for angling : implications for mainstream aquaculture. Aquaculture and the Environment. EAS Special Publication 14 : 241-242. UK.

REFERENCES INTERNET

1. <https://www.afblum.be/bioafb/animalia/animalia.htm>
2. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8325/>
3. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/zoologie-cnidaire-4346/>
4. <https://www.cnrtl.fr/definition/plathelminthes>
5. <https://www.mnhn.fr/fr/collection-des-annelides>
6. <https://fr.scribd.com/document/350001206/Embranchement-Des-Nemathelminthe>
7. <http://ssaft.com/Blog/dotclear/?post/2015/11/05/Eucaryotes-et-caetera-Si-Vis-Veto-Paramecium>
8. [https://www.researchgate.net/publication/334599873_CHARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DES MYXOSPORIDIES COELOZOIQUES CHEZ SCORPAENA PORCUS DANS LA BAIE DE BIZERTE](https://www.researchgate.net/publication/334599873_CHARACTERISATION_MORPHOLOGIQUE_DES_MYXOSPORIDIES_COELOZOIQUES_CHEZ_SCORPAENA_PORCUS_DANS_LA_BAIE_DE_BIZERTE)
9. <https://iast.univ-setif.dz/documents/Cours/BIOLOGIE1TD3groupes3-4-5et6L1Geo21.pdf>
10. https://oer.uclouvain.be/jspui/bitstream/20.500.12279/322/10/syllabus_spongiaires.pdf
11. <https://deliry.net/actinopodes/>
12. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/actinopodes/>
13. <https://mer-littoral.org/05/cnidaires-1.php>