

www.facebook.com/pg/DomaineSNV

Université DE BLIDA 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Biotechnologies

Domaine SNV : Biologie, Agronomie, Science Alimentaire, Ecologie

2^{ème} Année T.C.S.N.V.

www.facebook.com/pg/DomaineSNV

COURS DE ZOOLOGIE

Présenté par :
Professeur DJAZOULI Zahr-Eddine

Année Universitaire 2015/2016

SOMMAIRE

Chapitre 1 : Évolution du règne animal.....	4
Introduction.....	4
1. Méthodologie.....	4
2. Histoire des classifications.....	6
2.1. Classifications successives.....	6
2.2. Arguments morphologiques de coupure.....	8
3. Réflexion sur la notion d'espèce et sur la spéciation.....	9
3.1. Le concept de l'espèce.....	9
3.2. Le modèle allopatrique de la spéciation neodarwinienne.....	10
3.3. La spéciation dans la pratique entomologique courante.....	12
Chapitre 2 : Sous-règne des unicellulaires (=Protozoaires).....	15
Introduction.....	15
1. Sous -Embranchement des Rhizoflagellés.....	16
1.1. Classe des Rhizopodes.....	16
1.2. Classe des Foraminifères.....	17
1.3. Classe des Flagellés.....	18
2. Sous -Embranchement des Actinopodes.....	23
3. Sous -Embranchement des Ciliés ou Infusoires.....	24
4. Sous -Embranchement des Sporozoaires (=Apicomplexa).....	27
Chapitre 3 : Sous-règne des pluricellulaires (=Métazoaires).....	32
Introduction.....	32
1. Les Métazoaires didermiques.....	32
1.1. Embranchement des spongiaires (=Porocytes).....	32
1.1.1. Les différentes formes d'éponges.....	33
1.1.2. La nutrition des Spongiaires.....	35
1.1.3. La reproduction des Spongiaires.....	35
1.2. Embranchement des cnidaires.....	36
1.2.1. Anatomie générale.....	36
1.2.2. La Fonction digestive.....	36
1.2.3. La reproduction.....	38
1.3. Embranchement des cténaires.....	39
2. Les Métazoaires tridermiques.....	40
2.1. Embranchement des plathelminthes.....	41
2.1.1. Classe des Trématodes.....	42
2.1.2. Classe des Cestodes.....	44
2.2. Embranchement des némathelminthes.....	46
2.3. Embranchement des annélides.....	51
2.4. Embranchement des mollusques.....	55
2.4.1. Evolution des mollusques.....	55
2.4.2. Classification des mollusques.....	57
2.4.3. Morphologie externe.....	59
2.4.4. Morphologie interne.....	61
2.5. Embranchement des arthropodes.....	63

2.5.1.	Caractéristiques de l'Embranchement des arthropodes	63
2.5.2.	Présentation des Chélicériformes (Araignées).....	66
2.5.3.	Présentation des Chélicériformes (Scorpions).....	68
2.5.4.	Présentation des Mandibulates (Crustacés).....	68
2.5.5.	Présentation des Mandibulates (Insectes).....	69
2.6.	Embranchement des Échinodermes.....	73
2.6.1.	Caractéristiques de l'Embranchement des Échinodermes.....	73
2.6.2.	Morphologie externe de l'étoile de mer (=Asterias).....	75
2.6.3.	Anatomie interne de l'étoile de mer (=Asterias).....	77
2.7.	Embranchement des Vertébrés.....	80
2.7.1.	Super-classe des poissons.....	80
2.7.1.1.	Evolution et classification.....	80
2.7.1.2.	Anatomie et physiologie.....	81
2.7.2.	Super-classe des tétrapodes.....	90

Chapitre 1 : Évolution du règne animal

- Introduction

L'étude de l'organisation du règne animal remonte à plusieurs siècles. De nombreux auteurs ont contribué à améliorer la connaissance de la morphologie et de l'anatomie et ont affiné les classifications successives. Les progrès de la microscopie et en particulier la microscopie électronique à transmission ou à balayage ont été d'un apport considérable.

L'introduction d'une méthodologie rigoureuse de reconstruction des phylogénies avec l'approche cladistique de Hennig, 1966, a ouvert de nouvelles perspectives. Les regroupements sont dès lors effectués sur la base de partage de caractères évolués communs et non d'une simple ressemblance comme auparavant. L'utilisation d'outils moléculaires et en particulier des comparaisons de séquences de protéines ou même de gènes a bouleversé certaines des données considérées comme acquises. Cela a obligé à regarder les caractères morphologiques avec un œil nouveau pour tenter de déceler une cohérence entre les informations de la morphologie et celles de la génétique.

Le traitement des données moléculaires a également fait l'objet de raffinements pour éviter des pièges insoupçonnés, dus à certaines particularités (abondance de GC par exemple, attraction des longues branches, taux inégaux de mutation). La vision de l'évolution des animaux est donc en perpétuel renouvellement. Il en résulte que la classification, qui suit par nature les informations de phylogénie, change également. La systématique, qui représente la synthèse de la phylogénie et de la classification, est une science en marche, comme la physiologie cellulaire par exemple.

Par ailleurs, la paléontologie a bénéficié des avancées méthodologiques de la morphologie (cladistique, microscopie électronique par exemple) mais aussi de l'émergence de nouveaux territoires riches en fossiles, et en particulier la Chine avec les sites du Cambrien et du Jurassique - Crétacé).

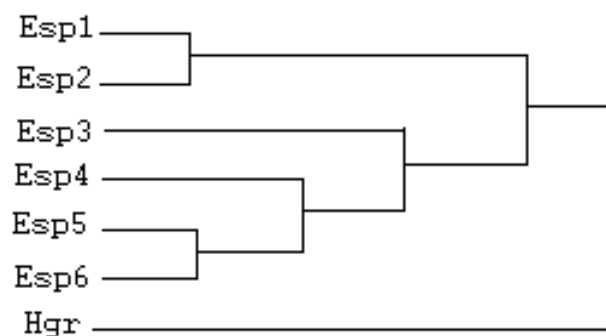
1. Méthodologie

L'utilisation des séquences en phylogénie se fait selon 2 méthodes principales : la distance et la parcimonie (tableau 1). Soit les espèces 1 à 6 dont on veut établir les relations de parenté. On dispose de séquences d'un fragment d'ADN, en principe un gène conservé. Une fois l'alignement réalisé, on doit comparer les mutations dans les bases azotées :

- soit les unes par rapport aux autres, en comptant le nombre de différences (distance)
- soit à la séquence d'une espèce hors-groupe, qui servira de référence. Il est nécessaire que cette espèce hors-groupe soit la plus proche possible du groupe étudié.

Tableau 1. Exemple d'alignement de séquences

	1		1 1		2 1
Esp1	G	T T G G C C G G C	T	T C A G A A T T G	A C G A G G T A C T
Esp2	A	T T G G C C G G C	C	T C A G A A T T G	A C G T G G G A C T
Esp3	A	T T G T C T G A C	C	G C C A A G T T A	A C G T G G G A C C
Esp4	A	C T G T C T G A C	C	T C C A A G T T A	A T G T G G G A C C
Esp5	A	C G G T C T T A C	T	T C C A A G T T A	A T G T C G A A C C
Esp6	A	C G G T C T G A C	T	T C C A A G T T A	A T G T C G A A C C
HGr	A	T T G G C T G A C	C	T T C A A A T T G	A C G T G G G A C T



Le groupe 1-2 est soutenu par les mutations 7, 9, 15, le groupe 5-6 par les mutations 3, 11, 25, 27, le groupe 4-5-6 par les mutations 2, 22, le groupe 3-4-5-6 par les mutations 5, 17, 20 et 30. L'ensemble 1 à 6 a la mutation 13 par rapport à l'espèce hors-groupe.

On ne tient donc compte que des mutations communes pour établir une phylogénie. Les mutations propres, comme 1, 24 et 27 chez l'espèce 1 ne sont d'aucune utilité. Le fait de posséder un même caractère ancestral (15 pour les espèces 3 à 6 ne donne pas non plus d'information de parenté.

Malheureusement, certaines mutations peuvent nous induire en erreur car elles apparaissent indépendamment dans plusieurs lignées, comme la 11 dans les espèces 1, 5 et 6 (convergence).

Il faut choisir des gènes dont la variabilité est adaptée au groupe étudié : faible si les espèces sont éloignées, forte si elles sont proches.

2. Histoire des classifications

2.1. Classifications successives

Depuis toujours, les humains ont appelé les espèces par un nom. La première intention de classification vient Aristote (tableau 2). La grande coupure pour lui est la présence ou non de sang ayant la couleur rouge. Comme le souligne Lamarck, ce système a le défaut que certains Annélides ont du sang rouge.

Linné (1753) a amélioré la classification des Vertébrés mais introduit une grande confusion chez les autres puisqu'il range tous les Invertébrés non Insectes dans les Vers (collection disparate).

Cuvier (1797) a insisté sur l'individualisation des Mollusques. La notion de Vertébré est de Lamarck qu'il introduit dans son cours au Muséum en 1794. Cuvier reprendra cette notion.

Lamarck (1809) a paufiné sa classification au fur et à mesure de ses cours qu'il prononçait. En 1799, il a décrit la classe des Crustacés, en 1800 celle des Arachnides, en 1802 celle des Annélides, en 1807 celle des Infusoires.

Tableau 2. Classifications successives

En 1753				En 1797		En 1809		
ARISTOTE		LINNE		CUVIER		LAMARCK		
Sang présent (couleur rouge)	Quadrupèdes vivipares	Cœur à 2 ventricules Sang rouge et chaud	Mammifères	Vertébrés	Mammifères	Vertébrés	Mammifères	
	Oiseaux		Oiseaux		Oiseaux			
	Quadrupèdes ovipares	Cœur à 1 ventricule Sang rouge et froid	Amphibiens - Reptiles		Reptiles (Amphibiens inclus) Poissons		Reptiles (Amphibiens inclus)	
	Poissons		Poissons				Poissons	
Sang absent	Insectes	Sanie froide	Insectes (Crustacés inclus)	Articulés	Insectes (Crustacés inclus) Annélides	Invertébrés	Insectes	
							Crustacés	Crustacés
								Arachnides
								Cirrhépèdes
				Annélides				
			Vers					
	Crustacés		Vers	Rayonnés	Echinodermes Coelentérés	Radiaires = Echinodermes Méduses		
Polypes = hydres Coelentérés fixés								
Testacés	Mollusques				Mollusques			
Mollusques			Infusoires					
classes		degrés	classes	Embranchements			Classes	

Il y a eu naturellement des raffinements. Ces classifications n'étaient en aucun cas liées à des hypothèses d'évolution ou de phylogénie.

Haeckel (1866 à 1892), grand admirateur de Darwin, son contemporain, a publié les premiers arbres phylogéniques pour traduire les relations de parentés entre les êtres vivants (fig. 1). Ces arbres successifs sont très intéressants. Outre le fait qu'il invente le règne des Protistes, il est le premier à affirmer une parenté entre les Plantes, les Protistes et les Animaux. Il reconnaît que les Coelentérés sont les premiers (fig. 1a) à se détacher de l'arbre général. Les Echinodermes sont rapprochés des Articulés (Arthropodes + Vers). Les Mollusques sont à part. La lignée des Vertébrés démarre très tôt et comprend l'Amphioxus. Au sein des Vertébrés (fig. 1b), il reconnaît les Amniotes au sein desquels les Oiseaux prennent racine au sein des Reptiles. Les Amphibiens sont nettement distincts. Les Tétrapodes sont unis. Ce savant prolifique a eu beaucoup d'intuitions qui ont été avérées.

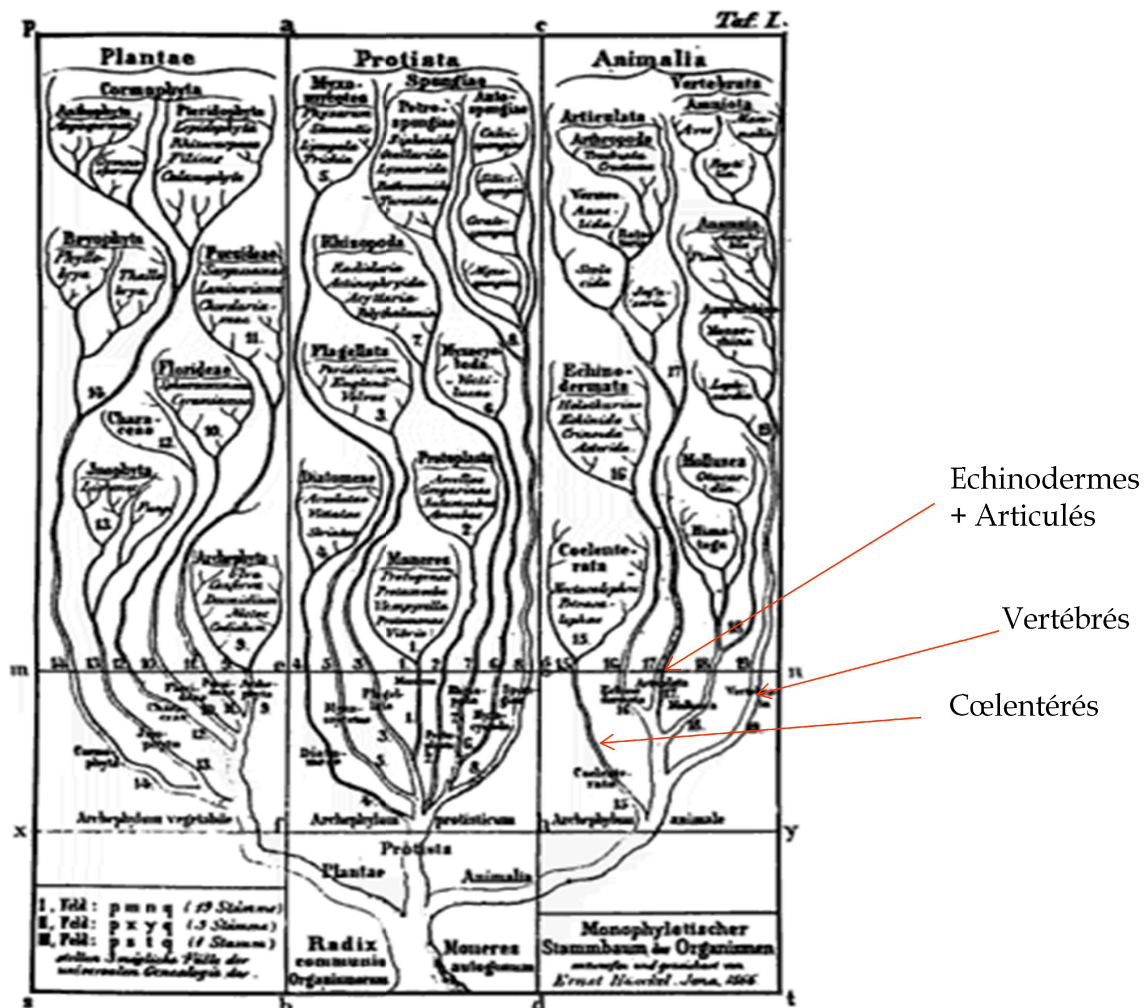


Figure 1a. Organisation des 3 règnes

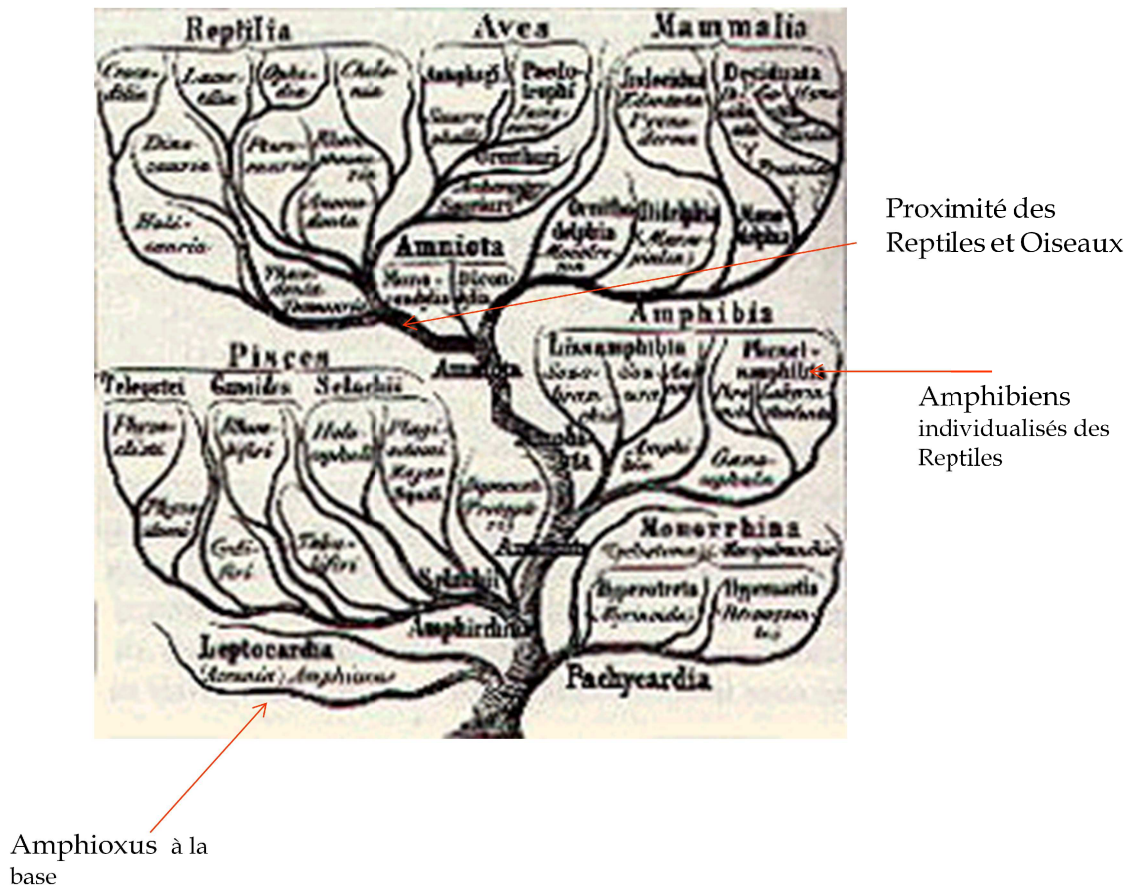


Figure 1b. Phylogénie des Vertébrés

2.2. Arguments morphologiques de coupure

Les premières approches ont comparé l'organisation des individus adultes. Cela a profité essentiellement à la classification des Vertébrés, notamment par l'anatomie comparée introduite par Cuvier.

En ce qui concerne les Invertébrés, la majorité des apports vient de la prise en compte de l'embryologie et des stades larvaires.

Segmentation spirale (nombreux Mollusques, Annélides, Plathelminthes Polyclades, Némertes) ou radiaire comme chez des Holothuries, Oursins ou les Amphibiens. La présence d'un vitellus abondant empêche la segmentation totale. Ce type n'a pas de signification phylogénique. Il peut être situé au pôle végétatif (Céphalopodes, Lézards et Serpents, Oiseaux) ou au centre (Insectes).

Gastrulation avec le blastopore (orifice d'invagination) au niveau de la bouche (Protostomiens) ou de l'anus (Deutérostomiens). Le feuillet invaginé (endoblaste) tapisse la

cavité digestive initiale appelée archentéron. Celui qui reste à l'extérieur est l'ectoblaste. Chez des Coelentérés, la couche unistratifiée se délamine avec un plan de clivage parallèle à la surface de l'œuf. Les couches internes forment l'endoblaste. La cavité archentérique s'ouvre secondairement. Pas de blastopore. Les Lophophoriens (Bryozoaires et Brachiopodes) sont difficilement attribuables à l'un des 2 groupes.

- Apparition d'un mésoblaste chez les Triplobastiques, selon plusieurs procédés. Ceux qui n'en ont pas sont des Diploblastiques.
- Larve de type **trochophore** (Annélides, Mollusques, Echiuriens, Sipunculien), **cyphonaute** (Bryozoaires), **de Müller** (Plathelminthes Polyclades) **dipleurula** (Echinodermes), **tornaria** (Entéro-pneustes), **ascidienne** (Ascidie)
- Un petit nombre de caractères concernent le stade adulte.
- Symétrie bilatérale par rapport à radiaire. Les Echinodermes ont une symétrie radiaire mais leur larve est nettement à symétrie bilatérale. Les vrais groupes à symétrie radiaire sont les Coelentérés et Cténaïres. Les Bilatéraux regroupent tous les non- Radiaires.
- Coelome : selon son importance, on distingue les Coelomates (segmentés ou non), les Pseudocoelomates et les Acoelomates.

3. Réflexion sur la notion d'espèce et sur la spéciation

3.1. Le concept de l'espèce.

Les publications consacrées à ce sujet constituent une masse énorme de documents et d'opinions que nous n'avons ni la possibilité, ni la prétention, de présenter ici. Un survol de l'évolution de cette notion se révèle particulièrement instructif.

La désignation binominale due à Linné, traduit le concept typologique de l'espèce : tout ce qui est conforme à l'exemplaire-type pris en référence appartient à l'espèce. Cette conception demeure à l'origine de la référence muséologique qui permet d'établir la nomenclature en accord avec les principes d'antériorité et autres règles nomenclaturales. Il s'agit du consensus international minimal, d'ordre administratif en quelque sorte, servant de garantie et de garde-fou... L'identification par l'image procède encore du même esprit.

Le critère de fécondité a été introduit avec Buffon et Cuvier : l'espèce est la collection des corps organisés, nés les uns des autres ou de parents communs, et de ceux qui leur ressemblent autant qu'ils se ressemblent entre eux. Pendant longtemps, l'accroissement des

connaissances n'a fait que diversifier les critères structuraux, morphoanatomiques et mixiologiques de l'espèce sans remise en question fondamentale.

Ecologie et génétique des populations ont transféré ces concepts au niveau des populations, transformant ainsi la notion abstraite d'espèce en un ensemble territorialement limité constitué par un pool de gènes isolé de ses voisins.

Enfin les ponctualistes, se fondant sur la paléontologie, ont mis en exergue la durée de l'espèce dans son cadre géologique; l'espèce est une stase dans un équilibre intermittent.

Nous retiendrons donc les notions paraissant fondamentales et classiques : l'espèce peut être définie à partir des critères de similitude morpho-anatomique, d'interfécondité et d'identité génétique. Pour certains cependant, l'espèce demeure indéfinissable et seuls les individus qui la composent sont capables de se reconnaître entre eux ! Malgré ce, seule l'espèce est généralement considérée comme unité naturelle fondamentale par opposition aux taxons infraspécifiques et surtout supraspécifiques, tels le genre et le sous-genre, purement conventionnels.

En fait, la variation est continue : il n'y a pas de différence de nature entre forme individuelle, morphe, sous-espèce, quasispecies ou semispecies et la multitude des catégories infraspécifiques qui ont été distinguées. Selon les fonctions qu'elles affectent, les mutations n'ont pas le même impact sur l'organisme et la sélection, influencée par une infinité de facteurs, diversifie à l'extrême les conséquences qu'elles engendrent. Tous les intermédiaires existent dans les degrés de séparation, jusqu'au niveau supraspécifique, et défient les tendances à la rationalisation de l'esprit humain, tenant en échec l'impérieux besoin de classement que fait naître chez l'entomologiste l'objet même de son étude...

3.2. Le modèle allopatrique de la spéciation neodarwinienne.

L'utilisation du terme spéciation ne se développe, en Lépidoptérologie en particulier, qu'avec la seconde moitié du XXème siècle. Elle traduit une meilleure perception de la disjonction d'une espèce initiale en deux nouvelles espèces, phénomène jusque-là inclus dans les processus évolutifs généraux, assez flous. Le modèle proposé intervient ici en conclusion de l'étude de quelques situations analysées précédemment.

La persistance d'une espèce est assurée par le flux génique qu'entretient la reproduction des individus qui la composent, que ceux-ci constituent une population unique ou un peuplement plus ou moins dispersé. Toutes modifications géographiques, climatiques, comportementales, etc, supprimant les contacts entre populations créent des isolats qui évoluent alors séparément.

De nombreux mécanismes, souvent recombinaés de manière complexe, peuvent rendre compte de la divergence évolutive observée : le polymorphisme du peuplement initial engendre une répartition inégale et aléatoire des allèles dans les isolats (effet fondateur) qui s'accompagne d'une dérive génétique mutationnelle d'autant plus importante que la fraction isolée compte moins d'individus (évolution neutraliste). Les pressions de sélection exercées par les différents biotopes engagent certaines évolutions dans des voies adaptatives variées. De plus la diversité des conditions environnementales édaphiques, climatiques et biotiques induisent des réponses comportementales extrêmement variables qui justifient la boutade : "la spéciation demeure toujours un cas d'espèce".

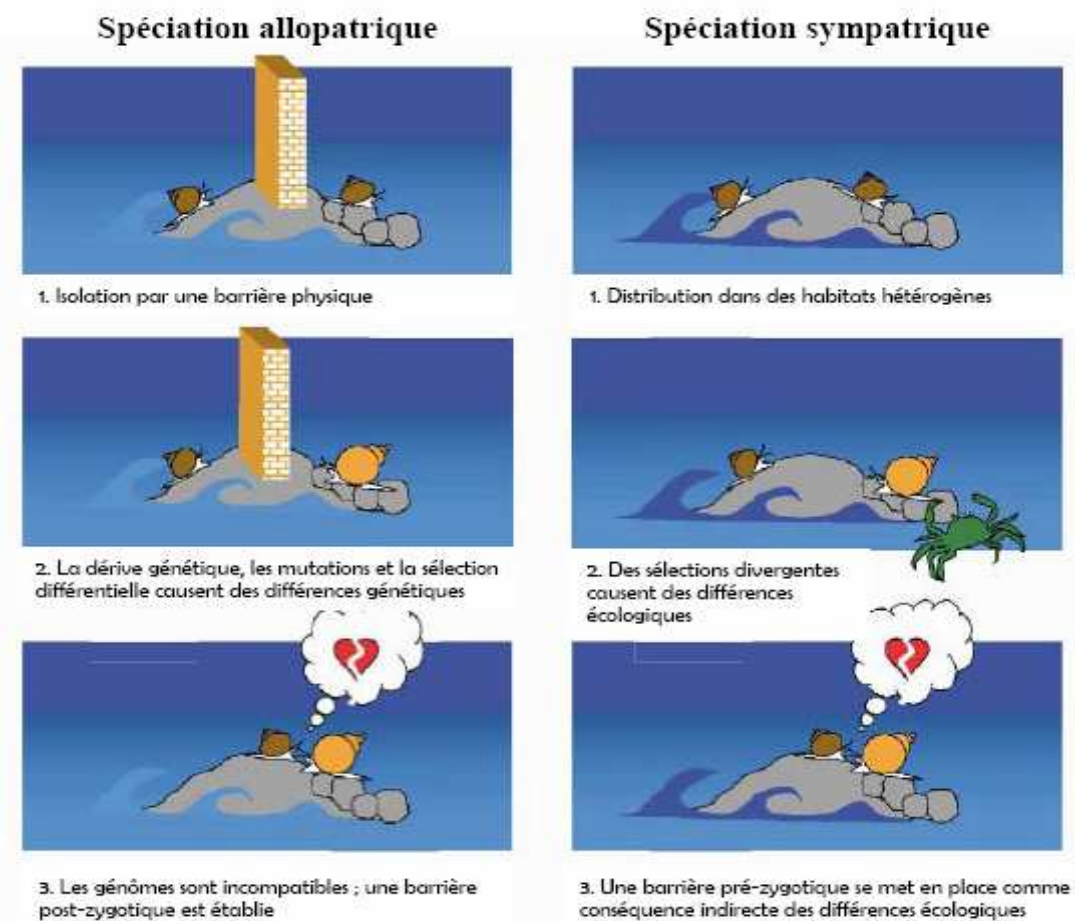


Figure 2. Modèles de la spéciation

Le schéma général doit donc être regardé comme cas médian, de plus grande fréquence, et non comme enchaînement d'étapes obligées; la polyploïdie peut produire une spéciation immédiate, le mécanisme génétique créant lui-même l'isolement; inversement, des séparations longues et des divergences adaptatives n'impliquent pas un isolement reproductif; diverses stases évolutives suggèrent que la dérive génétique ne soit pas inéluctable, etc.

Si la multiplicité des cas particuliers ne peut qu'être brièvement évoquée ici, sa réalité bannit toute interprétation systématisée, trop simplificatrice et surtout finaliste : le schéma proposé ne constitue pas une clé permettant la traduction standardisée des exemples proposés. Il convient donc, conformément à sa valeur d'hypothèse n'excluant pas d'autres interprétations, de l'utiliser avec précaution et surtout sans chercher à rationaliser de manière schématique les processus biologiques.

Le retour en contact de populations géographiquement séparées, engendré à priori par des modifications inverses de celles qui avaient conduit à l'isolement, révèle l'interfertilité ou l'interstérilité des individus, c'est à dire leur aptitude à remettre ou non leur génome en commun. Si le critère paraît objectif et non ambigu, il demeure en fait difficile à mettre en œuvre sur le terrain ou expérimentalement et de nombreux exemples de fertilité partielle ont été mis en évidence, donnant matière à la description d'une multitude de catégories intraspécifiques et subspécifiques.

L'interfertilité traduit l'absence de spéciation. Il reste cependant possible de distinguer des sous-espèces si les deux peuplements demeurent parapatriques, séparés par une frange d'hybridation dans laquelle se recombinent les caractères raciaux. Du fait de ce brassage génétique, deux sous-espèces ne peuvent être sympatriques. Inversement l'interstérilité de fait, sur le terrain, marque une séparation spécifique traduite par la cohabitation. Dans le cas des espèces jumelles, aucune différence morphologique directement perceptible n'indique l'appartenance à l'une ou l'autre espèce.

Parmi les nombreuses situations traduisant un échange génique limité entre deux populations, seule la quasispecies = semispecies Mayr 1978 (nec semispecies Mayr 1940) a été retenue à titre indicatif. Une interfertilité limitée, à un seul sexe par exemple, généralement dissymétrique, peut permettre à la population B d'acquérir des gènes de A : c'est le mécanisme d'introgression.

3.3. La spéciation dans la pratique entomologique courante.

Hormis dans quelques laboratoires, d'ailleurs de plus en plus rares à se consacrer à la Lépidoptérologie, les recherches par électrophorèse des protéines ou séquençage de l'ADN ne sont pas accessibles du fait de leur technologie et de leur coût. De plus, en se fondant uniquement sur des différences structurales, y compris à l'échelle moléculaire, aucun moyen ne permet actuellement d'affirmer que deux entités sont séparées "au niveau spécifique". Dans les cas les plus favorables, l'analyse des rapports qui s'établissent sur le terrain peut apporter une argumentation objective mais il n'existe pas de solution pour les peuplements allopatriques à l'exception peut-être d'une interstérilité expérimentale patente. Une part de subjectivité subsiste donc dans de nombreux cas pour fixer un statut spécifique ou subspécifique.

Quelques pièges, bien qu'assez grossiers, doivent être écartés.

Les caractères de reconnaissance d'une espèce ne constituent pas des critères de la spécificité. En particulier, une différence structurale se révèle d'autant plus "constante" chez les individus d'une "nouvelle" espèce, qu'elle constitue le seul critère de séparation !

La spéciation ne se ramène pas à l'évolution adaptative, c'est à dire à la sélection d'allèles différents. Elle passe par l'acquisition de gènes incompatibles entraînant l'arrêt des échanges géniques entre deux peuplements.

Une autre difficulté réside dans les écarts de vitesse considérables se manifestant dans la réalisation des caractères adaptatifs. Des pressions de sélection fortes induisent des convergences adaptatives entre deux espèces sympatriques alors que se manifestent simultanément des divergences accusées entre sous-espèces conspécifiques allopatriques, différences pouvant porter en particulier sur les genitalia.

Le mimétisme enfin pouvant achever d'embrouiller les pistes...

Le tableau suivant regroupe l'essentiel des éléments intervenant dans la spéciation et tente de les répartir en arguments plaçant pour une espèce unique ou plutôt favorables à la séparation de deux espèces (Tableau 3).

Tableau 3. Eléments majeurs intervenant dans la spéciation

CRITERES CONSIDERES	MEME ESPECE	ESPECES DISTINCTES
DIFFERENCES MORPHO-ANATOMIQUES Différence d'ordre quantitatif Structures organisées différemment Comparaison aux espèces voisines Norme de variation du caractère Structures intermédiaires présentes	+ + - - Ecart plus faible Variation unimodale ou bimodale à large recoupement + +	- - + + Ecart du même ordre de grandeur Deux variations indépendantes - -
DIFFERENCES BIOLOGIQUES Cycle de développement Emergences Premiers états Trophisme Pheromones	Cycles synchrones Même nombre Identiques ou très voisins Compétition Actives pour tous les individus	Cycles décalés Nombre différent Différences qualitatives tranchées Régimes différents, sans concurrence Réponses variables
RAPPORTS SUR LE TERRAIN Distribution géographique Biotope Cohabitation	Sans signification Se remplacent dans le même biotope Allopatrie ou parapatricie; sympatrie impossible	Plutôt sphères faunistiques différentes Occupent plutôt des biotopes différents Sympatrie totale ou partielle
ECHANGES GENIQUES Sympatrie Parapatricie Allopatricie	0 0 0 Recombinaison des caractères avec % des hybrides > parents dans une large zone d'hybridation Interfertilité expérimentale des F1	Ségrégation absolue des caractères Introgression possible. Seule mise en commun de gènes sur une frange limitée avec % des hybrides < parents. Fertilité des F1 réduite ou nulle

Différents cas isolés doivent apporter nombre de contradictions à ces propositions, illustrant une nouvelle fois l'extrême diversification du vivant.

Certains voient dans la spéciation le pas élémentaire résultant de l'évolution néo-darwinienne gradualiste. L'argument fondamental opposé à ce point de vue réside dans la difficulté de concevoir deux plans d'organisation, du niveau des Embranchements, dérivant d'un même plan initial. Des formes ambiguës, actuelles et passées, existent cependant aux confins des Echinodermes et des Cordés par exemple. Mais Stephen Gould remarque par ailleurs qu'aucun plan original, aucun grand phylum animal, n'apparaît après le Cambrien, ou au plus l'Ordovicien, alors que de nombreux disparaissent. Si l'on peut concevoir que l'évolution post-cambrienne résulte de la seule spéciation, les mêmes mécanismes peuvent-ils rendre compte de l'explosion des formes pré-cambriennes ? Le débat macro-évolution / micro-évolution reste ouvert.

Chapitre 2 : Sous-règne des unicellulaires (=Protozoaires)

- Introduction

Ce sont des organismes unicellulaires mobiles à reproduction sexuée ou asexuée. Polymorphe, on les trouve dans tous les milieux. Ils sont hétérotrophes et récupère l'azote d'autres organismes ou dans leur milieu sous forme de matière organique morte. Les éléments sont absorbés à l'état dissous (protozoaires osmotrophes) ou figuré (phagotrophes). Ils utilisent pour cela leurs pseudopodes ou un cytostome. Il existe de nombreuses formes de protozoaires parasites (Leishmaniose, Giardiose, Balantidiose, Paludisme...) et symbiotiques. Leur taille est compris entre 1-500 µm jusqu'à 4mm, à l'exception de certains foraminifères qui peuvent mesurer plusieurs centimètres.

Les Protozoaires se classent principalement selon leur mode de nutrition ou de locomotion.

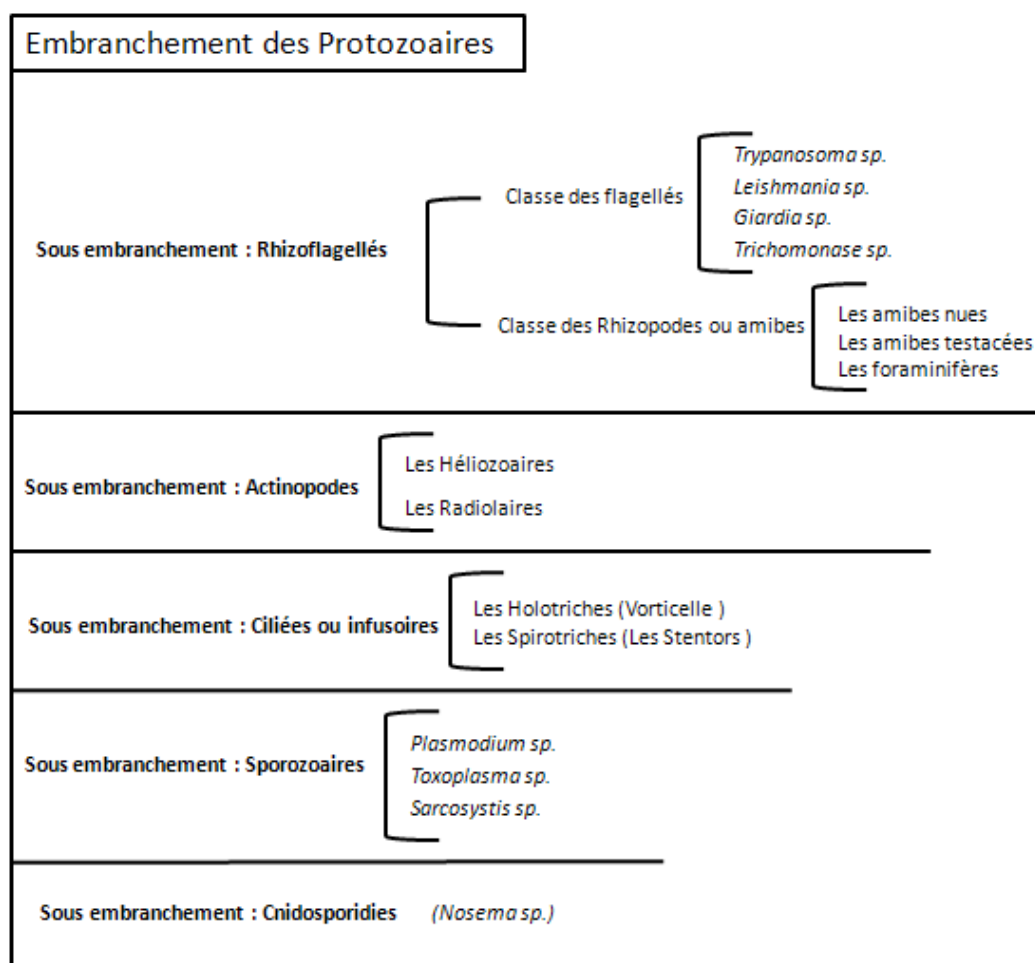


Figure 3. Classification des protozoaires

1. Sous -Embranchement des Rhizoflagellés

1.1. Classe des Rhizopodes

Les membres de l'embranchement des Rhizopodes, les Amibes et leurs proches parents, sont tous unicellulaires. Avec ou sans coque (ou test), ils figurent parmi les Protistes les plus simples. L'Amibe ne possède un flagelle à aucun stade de son développement. Elle utilise plutôt des prolongements cytoplasmiques appelés pseudopodes pour se déplacer et se nourrir (Figure 4). Ses pseudopodes peuvent surgir de n'importe quel point de la surface cellulaire. Lorsqu'elle se déplace, l'Amibe étire un pseudopode et en ancre l'extrémité, ce qui crée un mouvement du cytoplasme vers le pseudopode.



Figure 4. Alimentation des Amibes

Les organismes de cet embranchement n'utilisent ni la méiose, ni un mode de reproduction sexuée. Ils se reproduisent de façon asexuée grâce à divers mécanismes de division cellulaire. Des fuseaux mitotiques se forment, mais les stades typiques de la mitose ne se produisent pas chez la plupart d'entre eux. Par exemple, chez un grand nombre de genres, la membrane nucléaire persiste durant la division cellulaire (Figure 5).

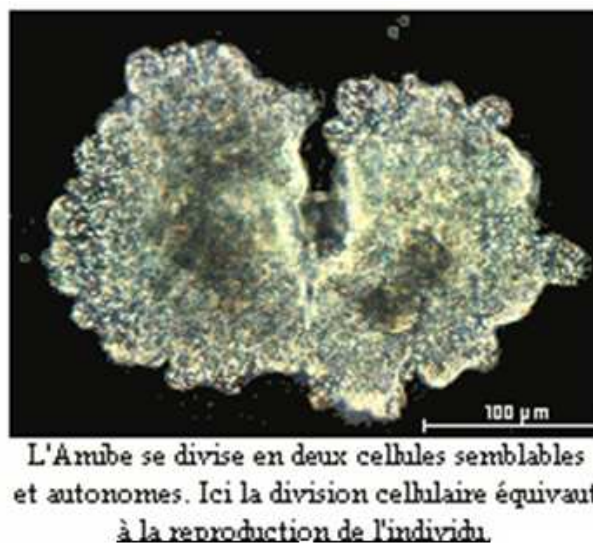


Figure 5. Reproduction des Amibes

1.2. Classe des Foraminifères

Exclusivement marins, les Foraminifères vivent presque tous dans le sable ou se fixent aux rochers et aux Algues. Certaines familles de Foraminifères abondent également dans le plancton. Cet embranchement doit son nom aux coques poreuses des organismes qu'il englobe (du latin foramen "petit trou", et ferre "porter"). La coque d'un Foraminifère possède habituellement plusieurs compartiments et se compose de matériaux organiques renforcés avec du trioxocarbonate de calcium (CaCO_3) (Figure 6). Des fibres du cytoplasme sortent par les pores et permettent à l'organisme de nager, d'assurer la formation de la coque et de se nourrir. Un grand nombre de Foraminifères se nourrissent également des produits de la photosynthèse élaborés par les Algues qui vivent en symbiose sous leur coque. Quatre-vingt-dix pour cent de tous les Foraminifères identifiés sont fossiles. Par conséquent, on trouve un grand nombre de leurs coques dans les sédiments marins, y compris dans des roches sédimentaires qui ont émergé, comme les falaises crayeuses de Douvres, en Angleterre. Ces fossiles sont d'excellents marqueurs pour la datation comparative de roches sédimentaires de différentes parties du monde

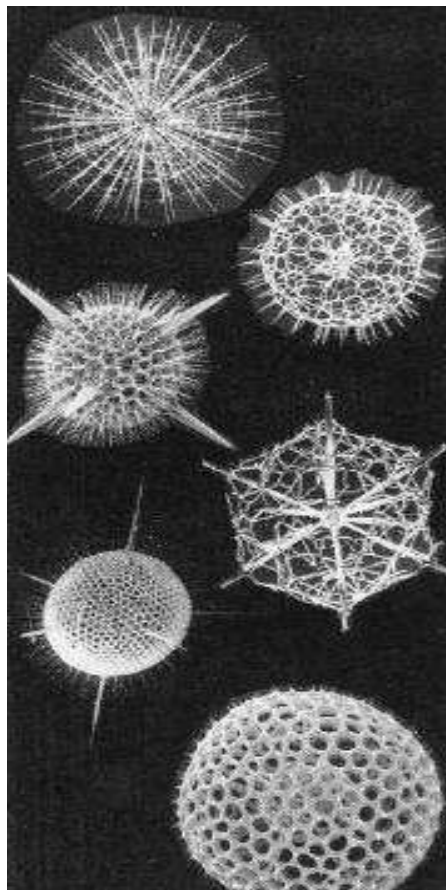


Figure 6 : Variation des tests calcaires des Foraminifères

1.3. Classe des Flagellés

Connu sous le nom des Zoomastigophores, il se nomme ainsi à cause de l'aspect des flagelles de ces Protozoaires, qui rappellent des fouets (du grec mastix "fouet"). Ils portent aussi le nom de Zooflagellés. Ces hétérotrophes absorbent des molécules organiques qu'ils trouvent dans leur environnement ou phagocytent leur proie. Bien que la plupart de ces micro-organismes vivent seuls, certains forment des colonies. Il existe des zooflagellés qui vivent en symbiotes, d'autres à l'état libre. Certains flagellés symbiotes, par exemple, vivent dans l'intestin du Termite et digèrent la cellulose du bois que son hôte ronge. À l'autre extrême des relations symbiotiques se trouvent des Zooflagellés parasites, dont certains s'avèrent pathogènes chez l'Humain. Les Zooflagellés du genre *Trypanosoma* causent la maladie du sommeil (trypanosomiase humaine africaine) qui se transmet par la piqûre de la Mouche Tsé-Tsé.

Les Leishmanioses, Sont regroupées sous le nom de Leishmaniose, un groupe de parasitoses tropicales qui demeure encore aujourd'hui un grave problème de santé publique à travers le monde malgré les avancées de la recherche.

Cette maladie est considérée par l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S), comme faisant partie des six maladies parasitaires majeures présentes dans le monde, comme la dengue et la trypanosomiase africaine. Ces maladies d'une part, sont émergentes et négligées et d'autre part, peuvent être opportunistes au cours du SIDA.

La leishmaniose est provoquée par le vecteur parasite protozoaire, *Leishmania*. Diverses formes de manifestations cliniques de la leishmaniose humaine ont été décrites, qui peuvent être groupées en 3 entités : la leishmaniose viscérale (VL, kala azar), la leishmaniose cutanée (CL, sore oriental, uta, pian bois, ulcère chiclero) et la leishmaniose mucocutanée (MCL, espundia)¹. Dans le Nouveau Monde¹, les leishmanioses sont provoquées par le complexe *L. braziliensis* (MCL et CL), le complexe *L. mexicana* (CL), *L. peruviana* (CL) et *L. chagasi* (VL et CL) ; dans le Vieux Monde, les leishmanioses sont provoquées par *L. donovani* (VL), *L. infantum* (VL et CL), *L. tropica* (CL), *L. major* (CL) et *L. aethiopica* (CL). *Leishmania infantum* et *L. chagasi* ont été trouvées identiques par génotypage biochimique et sont considérées comme des synonymes. Les maladies sont principalement des zoonoses avec quelques exceptions. La leishmaniose canine (CanL) est une maladie chronique viscéro-cutanée causée par *L. infantum* (= *L. chagasi*), pour laquelle le chien joue le rôle de réservoir. Dans certains cas, les parasites appartenant au complexe *L. braziliensis*, *L. major* et *L. tropica* ont été isolés à partir de l'hôte. Les vecteurs des leishmanioses sont les moustiques phlébotomine appartenant au genre *Lutzomyia* (Nouveau Monde) et *Phlebotomus* (Vieux Monde).

Les *Leishmania* sont des parasites hétéroxènes, possédant deux hôtes différents. Elles présentent deux formes morphologiques caractéristiques au cours de leur cycle de vie : une forme dite *promastigote* que l'on retrouve au niveau du vecteur Phlébotome et une forme dite *amastigote* qui se développe au niveau des macrophages chez l'hôte mammifère (Figure 7).

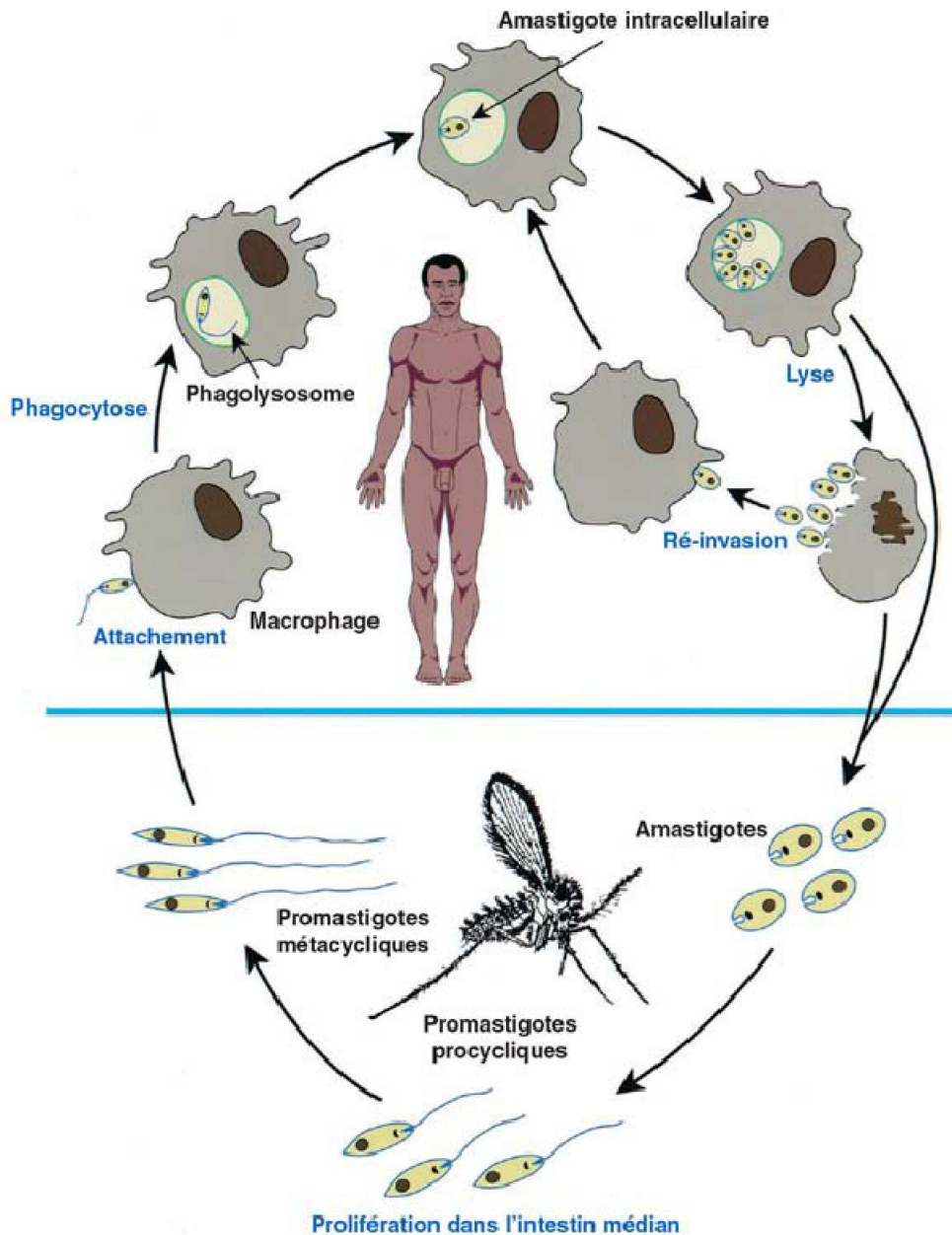


Figure 7 : Cycle biologique du parasite

Sous cette forme **promastigotes**, le parasite est mobile, extracellulaire et fusiforme, prolongé par un flagelle et peut mesurer de 5 à 20 μm . La forme promastigote présente différents stades de développement dépendant du lieu et du temps passé dans le système digestif du vecteur.

Lors de son repas sanguin, la femelle Phlébotome peut ingérer des parasites présents dans des macrophages infectés. Les macrophages seront lysés au niveau du tractus digestif du vecteur et les amastigotes ainsi libérés vont pouvoir se différencier en promastigote au bout de 24 heures. Cette forme dite procyclique va s'attacher aux cellules épithéliales de la membrane péritrophique. Ce promastigote, qui à ce stade n'est pas infectieux, va prendre une forme plus fuselée appelée nectomonade. Vers le 3^{ème} jour après l'ingestion, les nectomonades vont se diviser par scissiparité et vont aller se fixer sur les microvillosités de l'intestin médian abdominal avant de remonter l'intestin médian thoracique.

Cette ascension du tube digestif et l'acidification du milieu font que les nectomonades, entre le 5 et 7e jour, vont arriver à maturité et réaliser leur métacyclogenèse, c'est-à-dire, devenir infectieux. Ils ne pourront donc plus se diviser et finiront de migrer vers le proboscis pour être injectés par l'insecte lors du prochain repas sanguin (Figure 8)

Durée 4-19 jrs
Selon espèces

Amastigote

Promastigote
Leptomonase
Intestin moyen

Promastigote
Haptomonase
proventricule

Leptomonase libre
labium

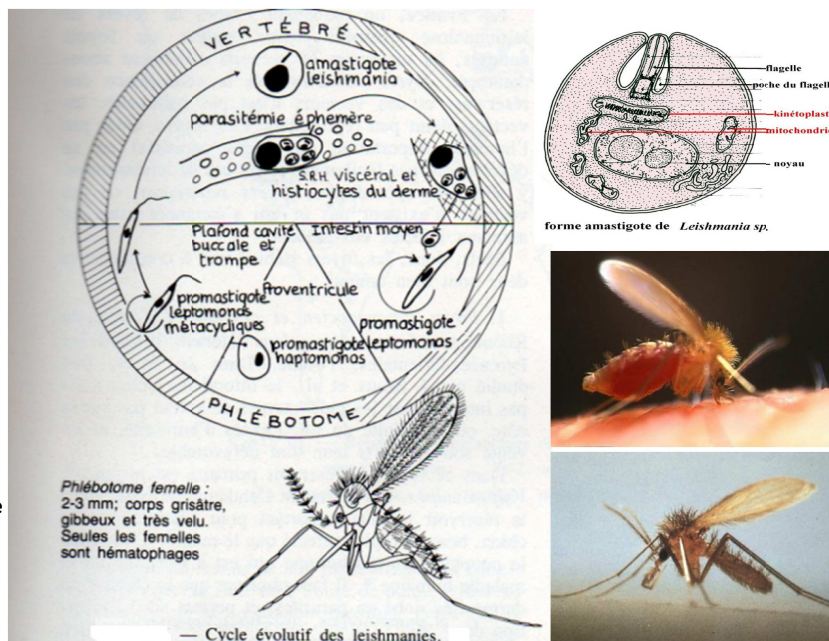


Figure 8 : Processus de différenciation au niveau de tube digestif chez le vecteur

Les amastigotes, est la forme sphérique du parasite (2 à 5 μm de diamètre en moyenne), c'est la forme intracellulaire que l'on retrouve chez l'hôte mammifère. (Figure 8). Lors de l'introduction des promastigotes métacycliques, ceux-ci vont être phagocytés par les macrophages dermiques grâce à la présentation de molécules de surface qui vont alors déclencher son internalisation par le macrophage ; par exemple le lipophosphoglycane de *L. major* interagit avec des intégrines de surface du macrophage tandis que l'activité protéasique de la protéine GP 63 de *L. mexicana* favorise l'activation de la voie alterne du

complément. Cette internalisation du parasite et les changements environnementaux qu'il subit (passage d'un milieu aérobie à anaérobie, d'un pH physiologique à un pH acide) vont induire la différenciation du parasite au stade amastigote.

En moins de 24 heures, les promastigotes vont se transformer en amastigotes à l'intérieur de la vacuole parasitophore mais il leur faudra 3 à 7 jours pour achever ce processus. L'amastigote va donc être capable de résister aux hydrolases lysosomales grâce, par exemple, à des protéines, telle que la HSP 70, qui lui permettent de résister à la flambée oxydative déclenchée lors de son entrée dans le macrophage.

Une fois différenciés, les parasites se divisent par fission binaire jusqu'à provoquer l'éclatement du macrophage puis se répandent par phagocytose de macrophage à macrophage.

Les différences des cas cliniques de la maladie chez l'Homme sont associées aux différentes espèces de *Leishmania* et à l'état immunologique du patient. Deux groupes de manifestations symptomatiques peuvent être décrits, l'un présentant la leishmaniose viscérale et l'autre regroupant les formes tégumentaires dans lesquelles le parasite reste localisé au niveau de la peau et des muqueuses ; celui-ci comprend les formes de *leishmaniose cutanée*, *cutanée diffuse* et *mucocutanée*.

✓ **Leishmaniose viscérale (LV)**

Elle est appelée kala-azar ou " fièvre noire ", c'est elle qui représente la forme la plus grave de la maladie. En absence de traitement, la LV est mortelle. Lors de la piqûre par le phlébotome, les parasites migrent via le système sanguin et lymphatique vers les organes lymphoïdes (rate et moelle osseuse) et le foie. Sa clinique se caractérise globalement par une inflammation du foie et de la rate, ce qui provoque une hépato-splénomégalie, une distension abdominale sévère, une perte de poids importante et une anémie.

La mort survient en général au bout de 6 mois à quelques années suivant la progression de l'infection. (Figure 9)

✓ **Leishmaniose cutanée (LC)**

Autrefois connu comme le " bouton d'Orient ", la LC peut provoquer des lésions cutanées présentant, sur le site de piqûre, une papule prurigineuse. S'en suit une réaction inflammatoire avec une hyperplasie de l'épithélium et une nécrose du derme qui conduit à une ulcération. Ces ulcères sont généralement circulaires avec des bords bien délimités qui ont une couleur violacée. Ils se recouvrent d'une mince croûte et évoluent vers une forme

dite " humide " (comme l' " Uta ") ou " sèche ". Ces lésions sont généralement indolores mais laissent après cicatrisation, de profondes cicatrices non pigmentées (Figure 10)



Figure 9 : Enfant atteint de leishmaniose viscérale
((1) inflammation de la rate, (2) inflammation du foie)



Figure 10: Lésion d'une LC

✓ Leishmaniose cutanée diffuse (LCD)

C'est une forme qui ne guérit pas spontanément, même après un traitement. Elle est caractérisée par la dissémination de lésions nodulaires qui sont riches en parasites et qui forment de large plaques infiltrées qui ressemblent fortement à des formes léproïdes. Cette forme de leishmaniose est présente généralement chez des personnes ayant une insuffisance immunitaire (Figure 11)



Figure 11: Lésion d'une LCD

✓ Leishmaniose mucocutanée ou cutanéomuqueuse (LCM)

C'est une leishmaniose particulière à l'Amérique du Sud et Centrale. Elle est connue comme " espundia ". En général, l'affection évolue en deux temps : une apparition d'ulcères cutanés totalement identiques à ceux présentés lors d'une LC finissant par cicatriser entre 6 mois et 1 an, suivie ou concomitante d'une seconde infection de la muqueuse nasale. Celle-ci pourra conduire à une destruction partielle ou étendue des muqueuses du nez, de la bouche ou de la gorge. Ses lésions nécrosées pourront donc être surinfectées par des affections bactériennes pouvant engendrer de grandes difformités faciales et plaçant les malades au centre de discriminations socioculturelles importantes (Figure 12)



Figure 12 : Lésions mucocutanées

2. Sous -Embranchement des Actinopodes

Le terme actinopode (Actinopoda signifie "pieds en rayon") fait référence aux pseudopodes minces appelés axopodes qui rayonnent des splendides Protistes composant cet embranchement. Un faisceau de microtubules recouvert d'une mince couche de cytoplasme renforce chaque axopode. Les axopodes augmentent la surface cellulaire en contact avec l'eau qui l'entoure, favorisent la flottaison et permettent à la cellule de se nourrir. De petits Protistes et d'autres microorganismes restent pris entre les axopodes et sont phagocytés par la mince couche de cytoplasme. La cyclose (courant cytoplasmique) transporte ensuite la proie à l'intérieur de la cellule. La plupart des actinopodes sont des composants du plancton. La plupart des Héliozoaires ("Animaux en forme de soleil") vivent en eau douce, tandis que les Radiolaires sont surtout marins. Le terme radiolaire désigne

plusieurs groupes d'organismes qui diffèrent parfois considérablement les uns des autres (Figure 13). Toutefois, ils possèdent tous une coque délicate, le plus souvent à base de silice, le matériau du verre. Lorsque les Radiolaires meurent, leurs coques se déposent au fond de la mer où elles s'accumulent sous forme de boue qui peut atteindre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur par endroits.

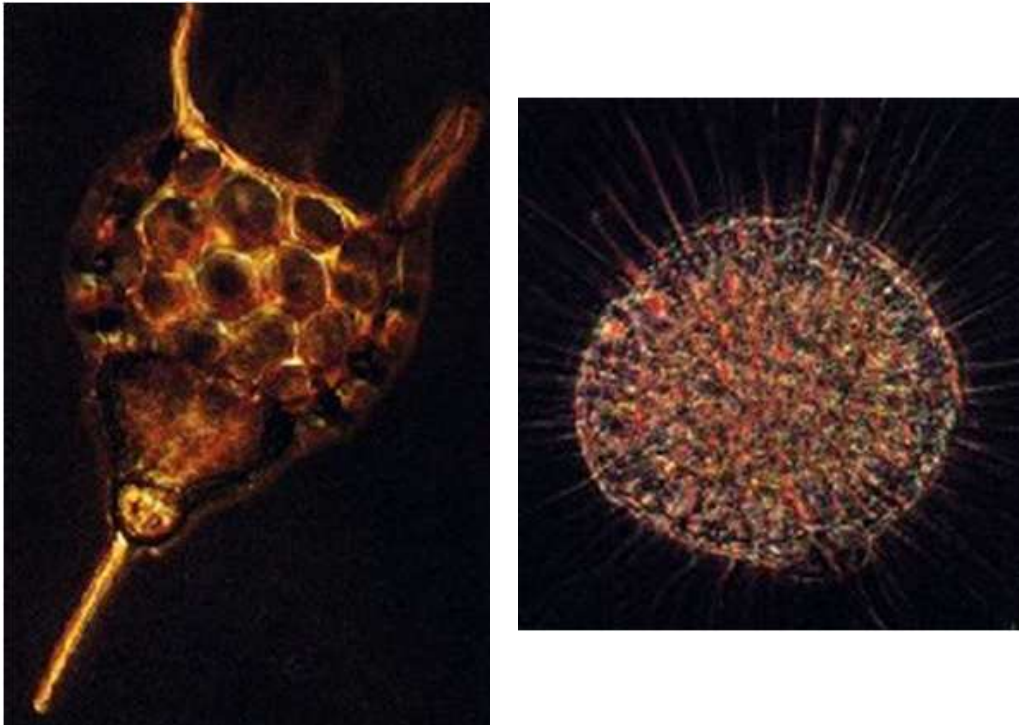


Figure 13. Diversité des coques des Actinopodes

3. Sous -Embranchement des Ciliés ou Infusoires

Les Ciliés possèdent une caractéristique génétique exclusive: ils ont deux types de noyaux: un gros macronucleus et, habituellement, plusieurs petits micronuclei (micronucleus). Le macronucleus possède 50 copies ou plus du génome. Les gènes ne sont pas assemblés en chromosomes ordinaires; ils sont réunis en un grand nombre de petites unités contenant chacune des centaines de copies d'une petite quantité de gènes. Le macronucleus régit les fonctions quotidiennes de la cellule en synthétisant de l'ARN et intervient dans la reproduction asexuée. Les Ciliés se reproduisent généralement par scissiparité (Figure 14), durant laquelle le macronucleus s'allonge et se divise, et non par mitose. Les micronuclei n'interviennent pas dans la croissance, le soutien ou la reproduction asexuée, mais ils sont essentiels aux processus sexués qui engendrent des variations génétiques. Le transfert des gènes se produit durant le processus de conjugaison. Les processus de la méiose et de la fécondation sont donc indépendants de la reproduction chez les Ciliés.

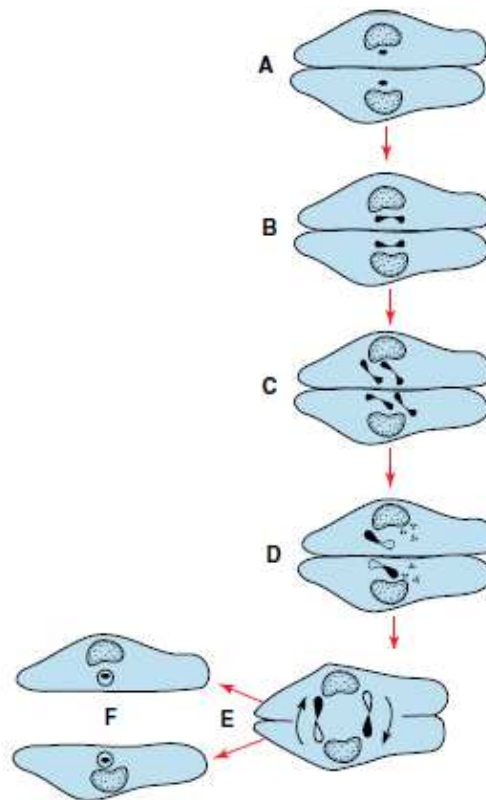


Figure 14 : Etapes de la reproduction par scissiparité

✓ **Balantidiose (=l'entérite à *Balantidium*)**

Chez la grande majorité des porcs, un protozoaire cilié du nom de *Balantidium coli* habite l'intestin. Il ne cause habituellement aucun problème de santé, hormis certains cas où le tube digestif est endommagé par toute autre cause. Le parasite est capable de s'enkyster quand les conditions deviennent néfastes pour sa survie. Ainsi, en cheminant le long du tube digestif, le contenu intestinal se déshydrate et le parasite s'enkyste en sécrétant une épaisse paroi à sa surface. Expulsé avec les matières fécales, il peut survivre pendant des périodes de temps allant jusqu'à 2 mois s'il est exposé à des températures clémentes et à une forte humidité. Les animaux s'infectent en ingérant ces kystes qui contaminent la nourriture ou l'eau.

Malheureusement, ce parasite peut infecter l'homme, en particulier les travailleurs de l'industrie porcine ou des abattoirs. Des fines gouttelettes de matières fécales sont avalées par inadvertance ou des kystes adhèrent aux mains et contaminent ensuite la nourriture. Comme ce sont en général les enfants qui en souffrent le plus et que l'on effectue peu d'examen de selles, on entend rarement parler de balantidiose. Pourtant, dans des pays à climat tropical ou subtropical, le parasite est trouvé chez bon nombre de

personnes. Dans tous ces cas, il y a des contacts avec le porc et parfois il y a même cohabitation. Chez les jeunes enfants affaiblis par la malnutrition, le risque d'infection est plus élevé.

Aucun signe clinique n'apparaît chez la majorité des personnes infectées. Exceptionnellement, des ulcères intestinaux peuvent se former en grand nombre et induire des diarrhées sanguinolentes. À partir de ces ulcères, les parasites peuvent même s'introduire dans un vaisseau sanguin et être disséminés dans différents autres organes ; ils s'arrêtent surtout au foie où ils forment souvent des abcès. Il semble que le système immunitaire soit peu efficace contre ce parasite et que les infections puissent parfois durer plusieurs années.

Le diagnostic se fait par examen des selles au microscope, mais cette méthode est peu sensible puisque les kystes sont excrétés en petits nombres et de façon intermittente. Les médicaments disponibles pour le traitement s'utilisent facilement et s'avèrent très efficaces. La prophylaxie implique le respect des règles d'hygiène élémentaires. Pour les voyageurs qui se rendent dans des pays à climat tropical ou subtropical où les conditions d'hygiène ne sont pas toujours optimales, il serait sage de se limiter à boire l'eau en bouteilles ou bouillie et d'éviter la consommation des légumes et des fruits crus.

✓ Espèces en cause

Trente-trois espèces animales seraient infectées de façon naturelle par un parasite du genre *Balantidium* sans que l'on puisse établir de façon certaine l'espèce en cause. Il est probable que les *Balantidium* découvertes chez les mammifères appartiennent toutes à l'espèce *B. coli*, mais le statut de celles qui ont été isolées chez des oiseaux, des reptiles et des poissons demeure incertain. Même si les parasites trouvés chez différents hôtes ont une forme identique, cela n'exclut pas la possibilité que l'on soit en présence d'espèces ou de souches différant par certaines caractéristiques biologiques ou par la spécificité quant à l'hôte. Certains chercheurs classifient quand même *B. suis* comme une espèce distincte, mais il n'en demeure pas moins que les observations épidémiologiques suggèrent que ce parasite infecte l'homme et que le porc en est le réservoir principal.

✓ Le parasite

Le parasite existe sous 2 types morphologiques, le trophozoïte et le kyste. Le premier adopte une forme ovale avec les extrémités plus ou moins en pointe, de taille très variable et mesure jusqu'à 150 μ et plus de longueur. Le second, de forme arrondie, est entouré d'une double membrane et atteint entre 40 et 60 μ de diamètre. Les 2 types possèdent un premier noyau d'apparence particulière, en forme de haricot, le macronucleus et un deuxième noyau minuscule et sphérique, le micronucleus, placé dans une dépression à

la surface du premier. D'autres organelles sont visibles au microscope comme des vacuoles contractiles pour la régulation osmotique, des vacuoles nutritives pouvant contenir des débris, des bactéries, des granules d'amidon, des érythrocytes ainsi que des fragments de l'épithélium de l'hôte et un péristome en forme d'entonnoir. La surface du trophozoïte est couverte de milliers de cils vibratiles regroupés en rangées longitudinales et d'une touffe de plus longs poils entourant le péristome. Une fois la paroi du kyste formée, le protozoaire conserve ses cils et sa motilité (Figure 15).

✓ Hôtes

Parasite naturel du porc et de certains rongeurs sauvages, il peut infecter jusqu'à 33 espèces animales de façon naturelle dont des espèces domestiques comme le chien, le chat, le mouton, le cheval et le sanglier, 14 espèces de primates non humains et des rongeurs dont le capybara, le hamster, le cochon d'Inde et le rat. L'homme en serait plutôt un hôte accidentel.

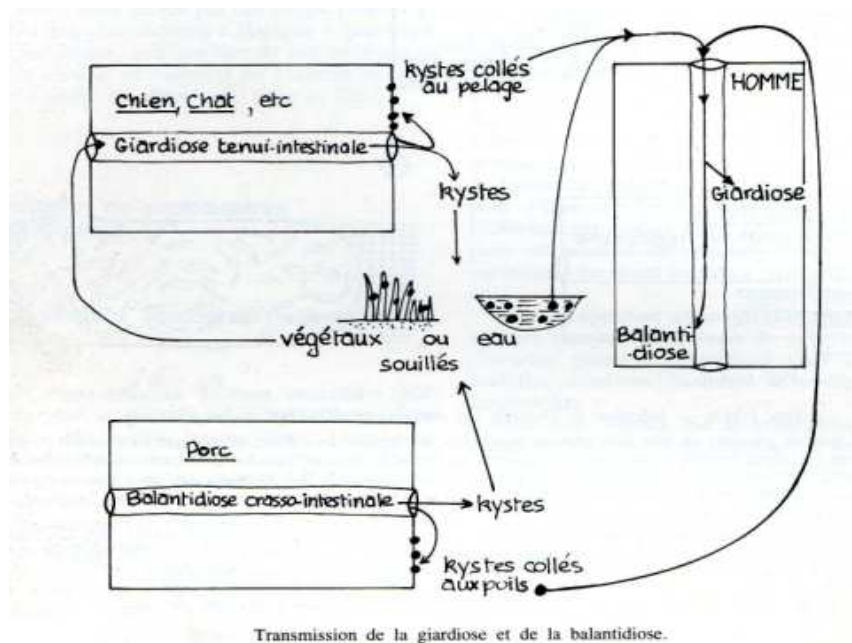


Figure 15 : Cycle de vie de l'entérite à *Balantidium*

4. Sous -Embranchement des Sporozoaires (=Apicomplexa)

Les organismes de ce groupe sont des endoparasites à cycle de développement complexe qui se caractérisent par la présence d'un **complexe apical** typique chez les stades infectieux appelé **sporozoïtes**, servant à la pénétration dans la cellule hôte (Figure 16). Ces sporozoïtes vermiformes uninucléés sont produits par des **sporocystes** et/ou **oocystes** Le

cycle comporte une alternation régulière de générations sexuées et asexuées. La cellule typique de sporozoaire est uninucléée.

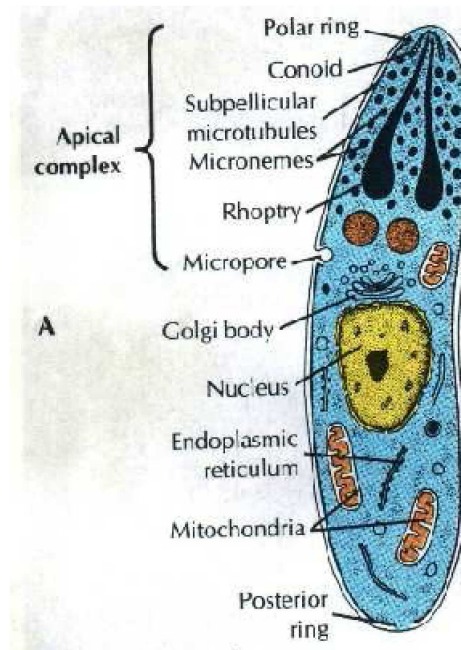


Figure 16 : Structure générale des sporozoïtes

Le **paludisme** (du latin *palus, paludis*, marais), appelé aussi **malaria** (de l'italien *mal'aria*, mauvais air), est une parasitose due à un protozoaire transmis par la piqûre d'un moustique, provoquant des fièvres intermittentes. Il est la cause d'environ deux millions de décès chaque année dans le monde, principalement dans les régions tropicales et en Afrique sub-saharienne.

La cause de la maladie a été découverte le 6 novembre 1880 à l'hôpital militaire de Constantine (Algérie) par un médecin de l'armée française, Alphonse Laveran, qui reçut le prix Nobel de médecine et de physiologie en 1907. C'est en 1897 que le médecin anglais Ronald Ross prouva que les moustiques étaient les vecteurs de la malaria.

Le parasite *Plasmodium* (surtout *P. falciparum* et *P. vivax*, plus rarement *P. ovale* et *P. malariae*) est transmis par la piqûre de la femelle d'un moustique appelé anophèle (genre *Anopheles*, qui est l'hôte intermédiaire), qui se reproduit dans les zones marécageuses. Le parasite sévit à l'état endémique, infecte les cellules hépatiques de la victime puis circule dans le sang (Figure 17).

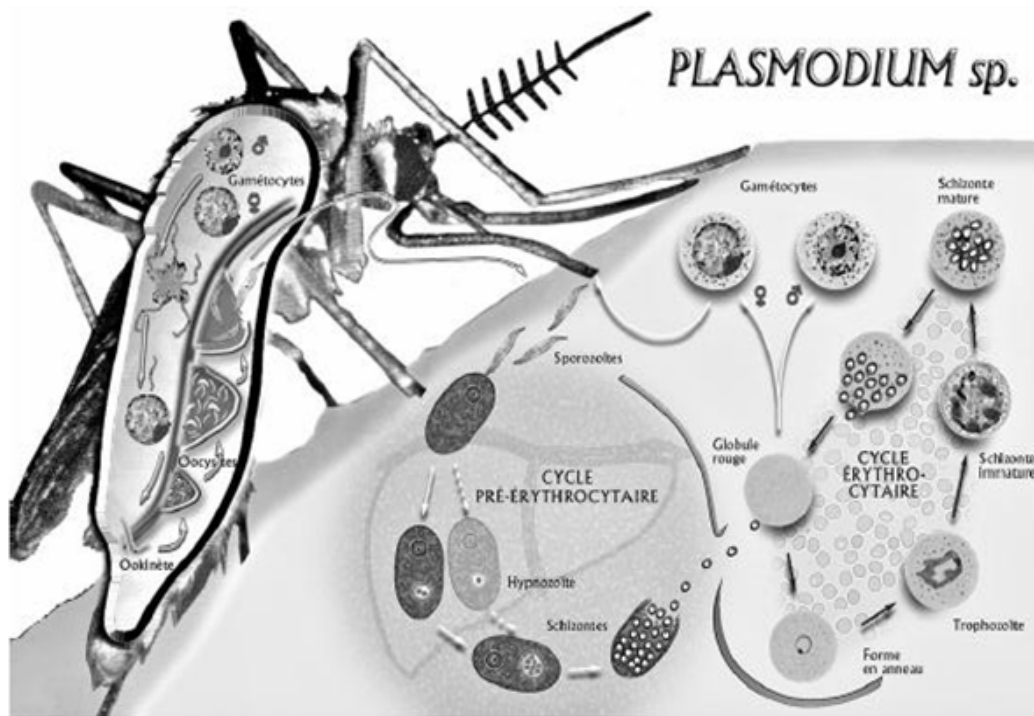


Figure 17: Différentes phases du cycle de vie du Paludisme

C'est un parasite hétéroxène (= Polyxène c'est-à-dire qui possède plusieurs hôtes intermédiaires).

✓ **Cycle de vie du parasite, exemple de *P.falciparum* :**

On distingue 2 phases dans le cycle de vie de *Plasmodium* :

- Une phase dans l'hôte définitif (l'homme, phase asexuée)
- Une phase intermédiaire dans le moustique Anophèle (phase sexuée)

On distingue chez l'homme 2 sous-phases :

- La phase exo-érythrocytaire
- La phase érythrocytaire

Le moustique va acquérir le parasite *P.falciparum* par piqûre et repas du sang d'un hôte déjà infecté (Figure 18.1). Car le parasite est présent sous la forme de gamètes mâles et femelles (♂ et ♀).

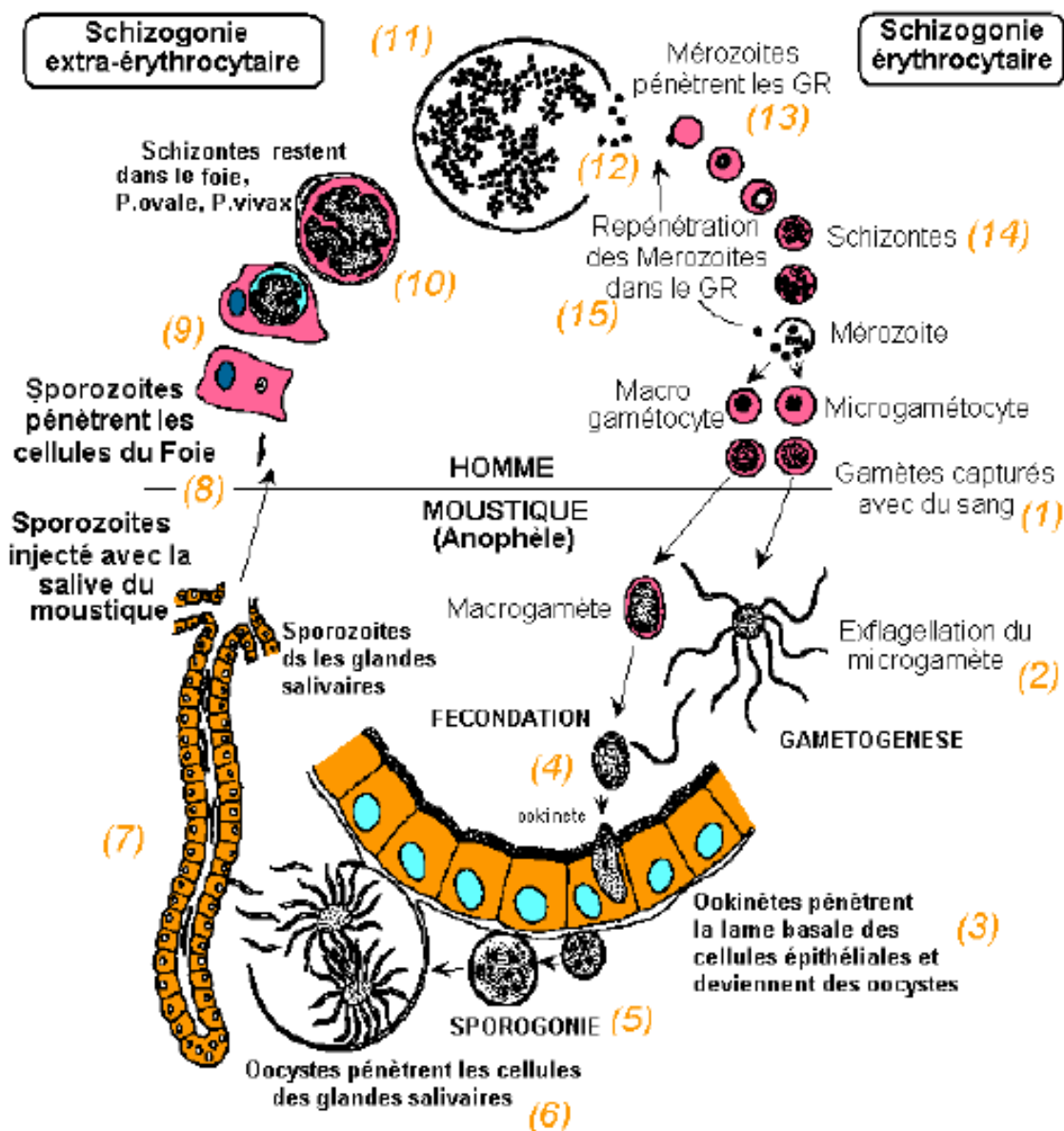


Figure 18 : Cycle de vie de *Plasmodium falciparum* chez l'homme et l'anophèle

Ces gamètes et vont se retrouver dans les parois de l'estomac du moustique (Figure 18.3). Il va y avoir fécondation. Les oeufs qui en résultent vont devenir mobiles (= ookinètes) (Figure 18.2) et ils vont pénétrer dans les parois du tube digestif et s'y enkyster au niveau de la lame basale des cellules épithéliales (Figure 18.4). L'ookinète va se transformer en un oocyste (Figure 18.5) qui va subir des méioses pour former les cellules haploïdes de Plasmodium (le parasite est diploïde dans la phase gamète-ookinète). On appelle cette phase la *sporogonie* (Figure 18.6). On a maturation des oocystes en *sporozoïtes* qui aller s'accumuler à l'intérieur des glandes salivaires du moustique (Figure 18.7). Lors de la piqûre du moustique, celui-ci va injecter de la salive parasitée à l'homme (Figure 18.8).

✓ **Première phase à l'intérieur de l'homme : la phase exo-érythrocytaire**

En moins d'une heure, les sporozoïtes disparaissent du sang pour pénétrer les cellules hépatiques (foie) (Figure 18.9). Les sporozoïtes se transforment alors en *schizontes* (Figure 18.10) qui vont grossir. C'est une phase asymptomatique (le schizonte fait environ 40mm de long, la cellule hépatique : 5-10mm). Après un certain temps de maturation propre à l'espèce de *Plasmodium* (1-2 semaines) le schizonte commence à se diviser activement. C'est la *schizogonie exoérythrocytaire* (hépatique). Les schizontes vont faire éclater la cellule hépatique (Figure 18.11). Le produit de cette division s'appelle un mérozoïte (Figure 18.12). Ces mérozoïtes vont être libérés dans le sang et pénétrer dans les globules rouges (Figure 18.13). Chez *P.vivax* et *P.ovale* cette schizogonie hépatique peut être très retardée (jusqu'à 18 mois). Chez *P.falciparum* le cycle est plus ou moins direct, de quelques jours à quelques semaines au maximum.

✓ **Deuxième phase à l'intérieur de l'homme : la phase érythrocytaire**

Le mérozoïte va se retransformer en *schizonte* (Figure 18.14) dans le globule rouge et il va se diviser activement. C'est la *phase symptomatique de schizogonie érythrocytaire*. Les schizontes vont faire éclater les globules rouges (car il grossit et se divise à l'intérieur), être libérés dans le sang et ré-infecter (Figure 18.15) d'autres globules rouges (c'est la crise de paludisme, appelé également *accès palustre*, est caractérisée par des accès fébriles, avec une fièvre à plus de 40°C, des frissons, suivis d'une chute de température accompagnée de sueurs abondantes et d'une sensation de froid. La crise correspond au réveil des parasites et peut se manifester tous les trois à quatre jours. Lorsque les crises se répètent pendant plusieurs années, elles peuvent dégénérer, entraînant une grande fatigue permanente, une anémie, une jaunisse, un grossissement puis un éclatement de la rate). Certains mérozoïtes vont se différencier en gamétocytes (micro-gamétocyte ♂ et macro-gamétocyte ♀).

Après piqure d'une personne infectée par le paludisme, le moustique va récupérer des gamétocytes qui restent dans le sang périphérique (ce sont des formes sexuées produites par le *Plasmodium*) avec le sang de sa victime. Il va piquer un autre hôte, lui injecter ces gamétocytes et le cycle recommence (Figure 18.1).

Chapitre 3 : Sous-règne des pluricellulaires (=Métazoaires)

- Introduction

Les Métazoaires sont caractérisés par la production de gamètes via la Méiose. Ils présentent une organisation cellulaire avec cellules différenciées qui peuvent se regrouper en tissu. On distingue (Figure 19).

Un épithélium en contact avec l'extérieur délimite l'espace interne qui le sépare du milieu extérieur même si le milieu extérieur est internalisé. Les cellules de l'épithélium sont ciliées et sécrètent une cuticule ;

La matrice extracellulaire ancrée sur la lame basale. Dans cette matrice il y a des *intégrines* qui assurent la cohérence entre les cellules et la lame basale et des *cadhérines* qui assurent la cohérence cellule/cellule ;

Le tissu conjonctif avec des cellules libres non jointives et figées par des polymères de protéines p.e. le collagène.

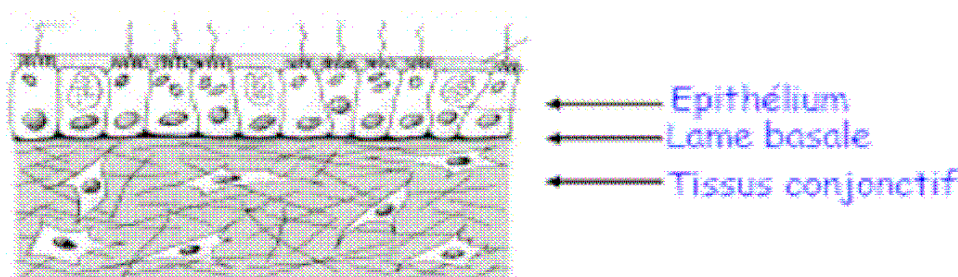


Figure 19 : Structure générales des Métazoaires

1. Les Métazoaires didermiques

1.1. Embranchement des spongiaires (=Porocytes)

Les Spongiaires possèdent des **choanocytes** comme chez les Choanoflagellés mais ils possèdent du **collagène** ce qui en fait des organismes animaux même s'ils n'ont pas tout à fait une structure épithéliale sur une lame basale. Le collagène est une **synapomorphie** des Métazoaires.

Les **amoebocytes** (ou archéocytes) sont indifférenciés et totipotents, il peut donc y avoir une différenciation et une dédifférenciation.

Les Spongiaires ressemblent à des algues (végétaux aquatiques) et ils ont d'ailleurs une analogie fonctionnelle :

- un végétal capte l'énergie du milieu qui est transformée en molécule chimique ;
- le spongiaire exploite le milieu dans sa richesse en matières organiques, il filtre le milieu.

Ils ont une **organisation multicellulaire** dédiée à la filtration alimentaire. Et ce sont des intermédiaires entre des colonies unicellulaires où chaque cellule a un rôle que l'on peut changer par différenciation et dédifférenciation et des animaux.

1.1.1. Les différentes formes d'éponges

Les éponges se caractérisent par un ensemble de cellules différenciées formant la structure du corps et assurent les fonctions vitales, on distingue (Figure 20):

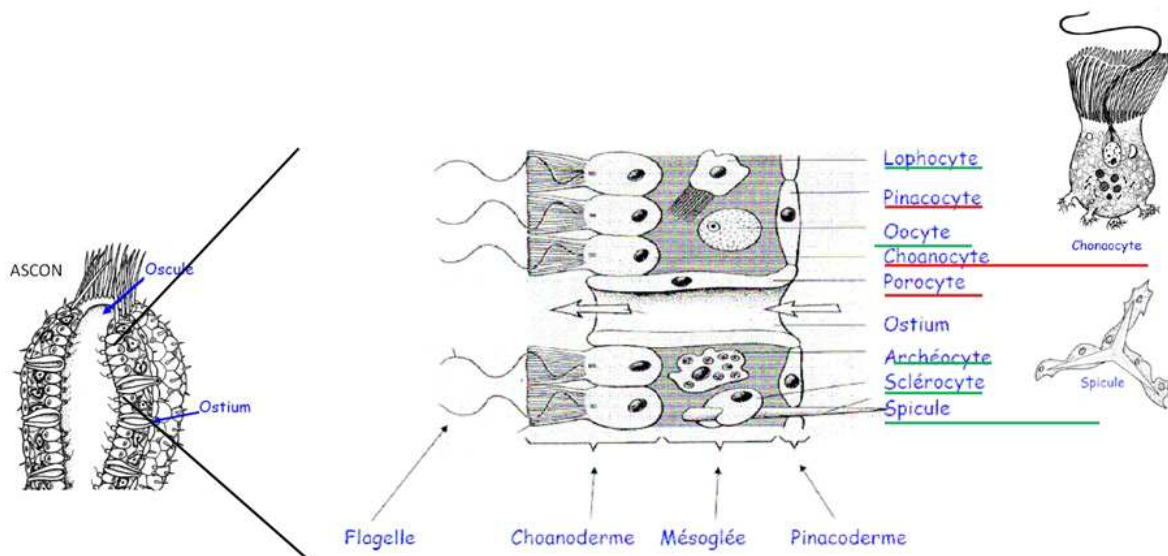


Figure 20 : Spécialisation des cellules chez les éponges

- **Pinacocytes** : cellules de revêtement accolées les unes aux autres et forment le pinacoderme ;
- **Choanocytes** : cellules munies d'un flagelle responsables de la mise en mouvement de l'eau et de l'apparition des courants d'eau ;
- **Porocytes** : cellules qui forment l'orifice de passage (ostium) ;

- **Mésoglée** : contient les archéocytes qui peuvent se différencier, les lophocytes qui sécrètent des protéines fibreuses (p.e. collagène) qui assurent la structure de la matrice extracellulaire, les oocytes qui produisent les gamètes pour la reproduction sexuée, les sclérocytes qui sécrètent des spicules (système de soutien de la mésoglée) : il y a des spicules calcaires, siliceux et cornés.

- ✓ **Ascon** : Ce sont des animaux de très petite taille (~mm) et leur surface est une capacité d'apport. Le volume est le consommateur qui a des besoins métaboliques. Mais ces deux paramètres n'évoluent pas proportionnellement : quand l'animal augmente de taille il ne peut plus subvenir à ses besoins au bout d'un moment ce qui justifie sa taille (Figure 21_a).

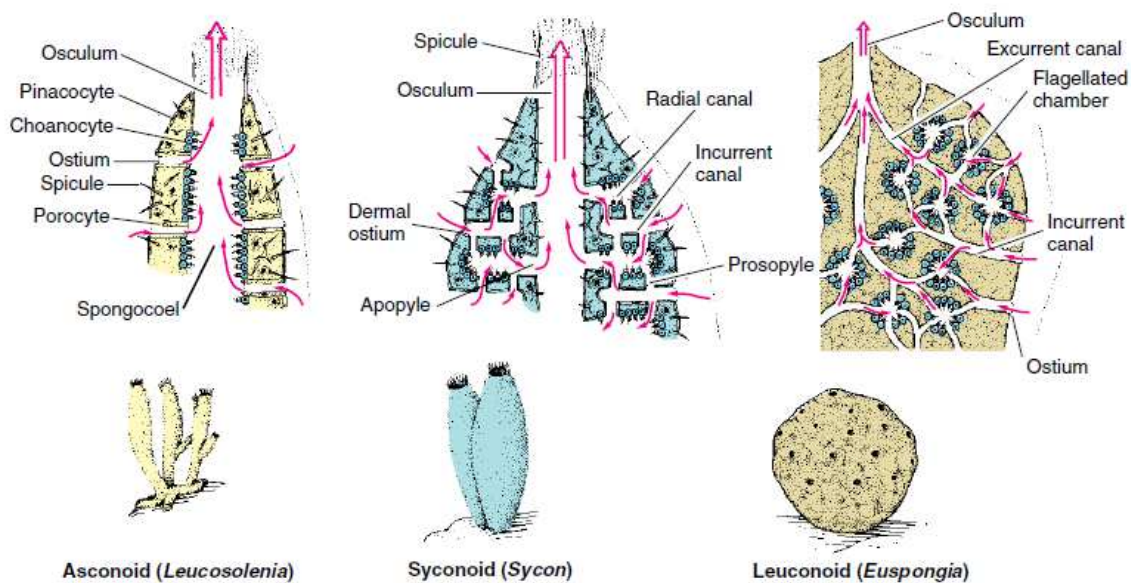


Figure 21 : Différentes formes des éponges

- ✓ **Sycon** : Pour augmenter la surface d'échange, il faut faire des plis. Le volume reste le même mais la surface est augmentée. Il y a mise en place de chambre (ou corbeille) vibratile filtrante contenant les choanocytes (Figure 21_b).
- ✓ **Leucon** : Il y a une augmentation du nombre de chambres vibratiles avec une concentration de choanocytes. *Microciana prolifera* : on trouve jusqu'à 10 000 chambres/mm³ de 20 à 40 µm de diamètre contenant jusqu'à 50 choanocytes/chambre (Figure 21_c).

1.1.2. La nutrition des Spongiaires

Il y a un système dédié à la filtration : une éponge est capable de pomper l'équivalent de son poids en eau en 5 secondes. Les particules piégées font de 1 à 50 μm , ce sont des organismes planctoniques unicellulaires, des bactéries, des virus, des débris organiques vont être phagocytés par les archéocytes ou par les choanocytes où ils seront resécrétés dans la mésogée pour être rephagocyté par un archéocyte.

Les métabolites pourront atteindre n'importe quel type cellulaire sans qu'il y ait un système particulier de distribution.

Le milieu extérieur n'est jamais loin des cellules donc il n'y a pas d'échanges respiratoire particuliers, tout est échangeur. Il n'y a pas non plus d'organe excréteur puisque ces fonctions sont assurées par la cellule. Il n'y a pas de système nerveux ou endocrinien, ni de locomotion.

1.1.3. La reproduction des Spongiaires

✓ *La reproduction clonale ou régénération*

A partir de fragments on peut régénérer un clone. Ce fragment (= stolon) doit s'attacher au substrat et va se redévelopper pour donner une éponge identique. L'éponge de départ.

En eau douce l'éponge se fragmente pour donner des gemmules qui se referment sur elles-mêmes et qui permettent une vie ralentie. C'est une forme de résistance pour passer une mauvaise saison. En se fixant sur substrat, ces gemmules pourront se redévelopper.

✓ *La reproduction sexuée*

De nombreuses éponges sont hermaphrodites et possèdent donc soit des ovocytes soit des spermatozoïdes qui donnent un œuf émis par l'oscul.

Les spermatozoïdes sont émis par l'oscul et captés par l'ostium d'une autre éponge, il y a phagocytose par les choanocytes et transport vers les oocytes. Après fécondation, les œufs sont émis par l'oscul. Les modes de reproduction sont diversifiés. Il y a une adaptation l'environnement.

1.2. Embranchement des cnidaires

C'est un groupe monophylétique. Marins pour la plupart, on distingue 10 000 espèces et une vingtaine sont d'eau douce. Ils sont battis autour de 2 feuillets : l'ectoderme et l'endoderme (ce n'est pas une synapomorphie puisqu'ils sont présents chez les Cténaïres et les Bilatéraliens) donc c'est un groupe diploblastique.

Ils sont caractérisés par une symétrie radiaire et possède un cnidocyte (=cnidoblaste) qui sert à la défense et à l'attaque, ce sont donc des prédateurs.

Ils existent sous des formes **polypes** ou **méduses**.

1.2.1. Anatomie générale

Il y a une cavité gastrovasculaire : le sac digestif est un système qui fournit les métabolites et qui les distribue. Dans le cas d'un système ramifié on parle de cavité digestive. Cette cavité gastrovasculaire débute par une bouche qui est l'orifice unique porté par le manubrium qui est une sorte de trompe. Tout autour il y a les tentacules avec les cnidocytes. L'ombrelle qui est la face supérieure joue le rôle de locomotion. Chez certaines méduses il y a un velum qui ferme partiellement la cavité sous ombrellaire (Figure 22).

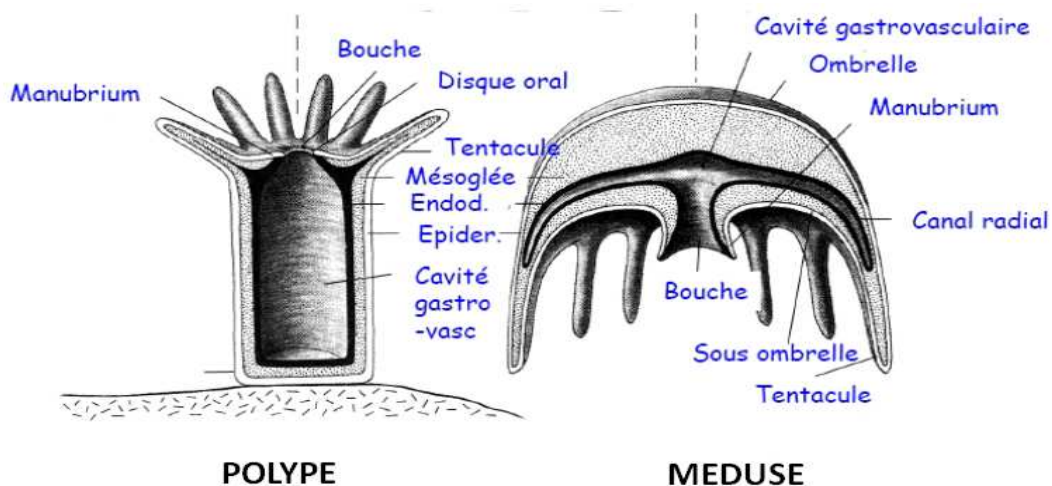


Figure 22 : Aspect générales des polypes et des méduses

1.2.2. La Fonction digestive

Les Cnidaires sont fondamentalement des prédateurs. Le **nématocyste** contient le **harpon** qui contient un venin paralysant. Le harpon est dévaginé par un système de

commande. Le **cnidocil** joue le rôle de mécano-récepteur. La pression osmotique fait entrer de l'eau (P jusqu'à 140 atm.) et le harpon se dévagine en 2ms (Figure 23).

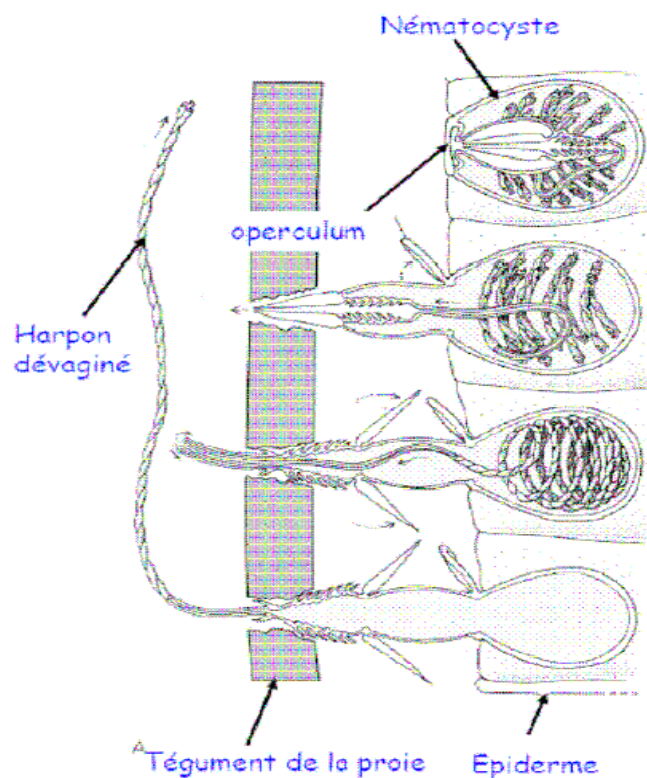
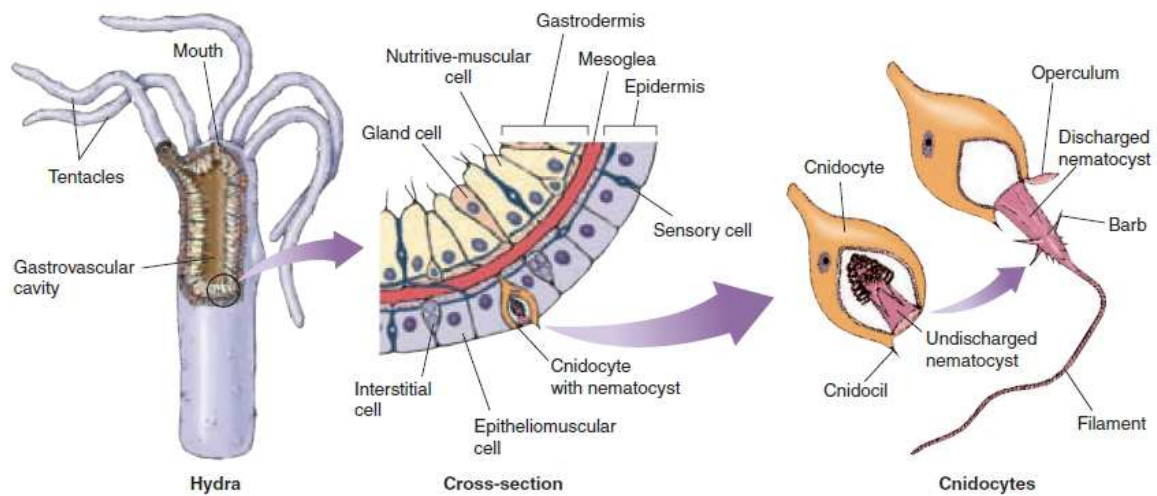


Figure 23 : Fonctionnement du Nématocyste

Le Cnidaire va pousser la proie vers le manubrium avec ses tentacules et elle sera digérée dans la cavité gastrovasculaire mais il n'y a pas de processus orienté lors de la digestion.

Toutes les cellules en contact avec le milieu extérieur peuvent respirer et rejeter les déchets. Là où le Spongiaires est un organisme filtreur, le Cnidaire est un chasseur. Cela nécessite la perception de l'environnement et de mouvements pour prélever les proies.

1.2.3. La reproduction

Deux modes de reproductions sont à distinguées chez les Polypes et les Méduses

- **Asexuée** : par bourgeonnement (a) / par scissiparité (b) (d) (Figure 24).

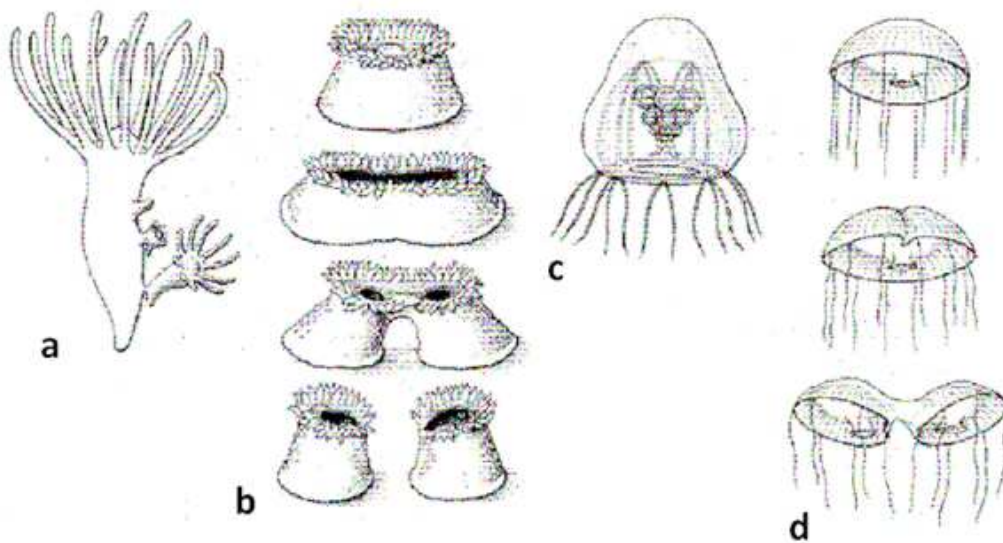


Figure 24 : Modes de reproductions asexuées chez les Polypes et les Méduses

- **Sexuée** : les gamètes sont produits dans l'endoderme, les sexes sont séparés en général. Les polypes relarguent leurs gamètes et après la fécondation on obtient une **larve planula** qui se déplace grâce à un épithélium cilié. Cette larve redonnera un polype (Figure 25).

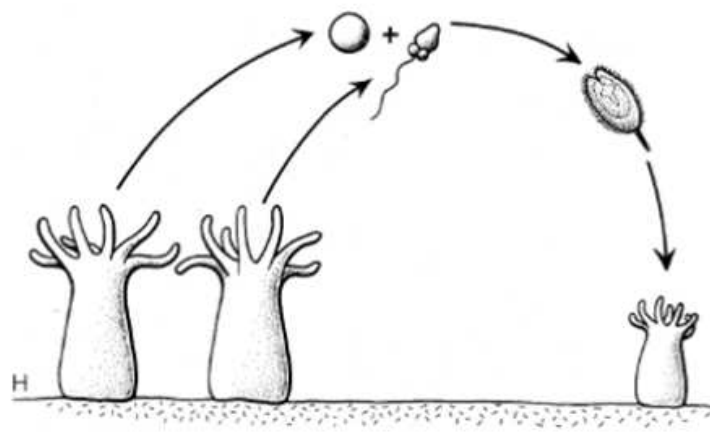


Figure 25: Modes de reproductions sexuées chez les Polypes

Ce mode de reproduction est simple, on le retrouve chez les Anthozoaires. La larve contient des réserves, peut se nourrir de proie ou peut abriter une algue photosynthétique (Zooxanthelle : symbiose).

Les polypes peuvent être plus complexes et fusionner pour former des **colonies** dont les ectodermes ont fusionné et où on ne peut plus différencier les individus. Certains polypes se spécialisent en **polype nourricier** (Gastrozoïdes) et d'autres en **polype reproducteur** (Gonozoïdes) ce qui permet une meilleure survie de l'espèce.

1.3. Embranchement des cténaires

Leur symétrie est **biradiaire**. Il y a environ 100 espèces de plusieurs formes dans tous les océans jusqu'à 3 000m de profondeur. Ils ne possèdent pas de cnidocistes mais ils ont une **rangée de peignes ciliés**.

La bouche est à la fois l'entrée et la sortie car il y a un sac gastrovasculaire, pas de tube digestif orienté et le pore anal n'est pas l'anus. C'est la même situation que chez les Cnidaires

L'**organe aboral** possède un **balancier** qui permet aux Cténaires de se positionner. Le caractère dérivé intéressant chez les Cténaires est le **colloblaste** qui permet d'agglomérer les proies (Figure 26).

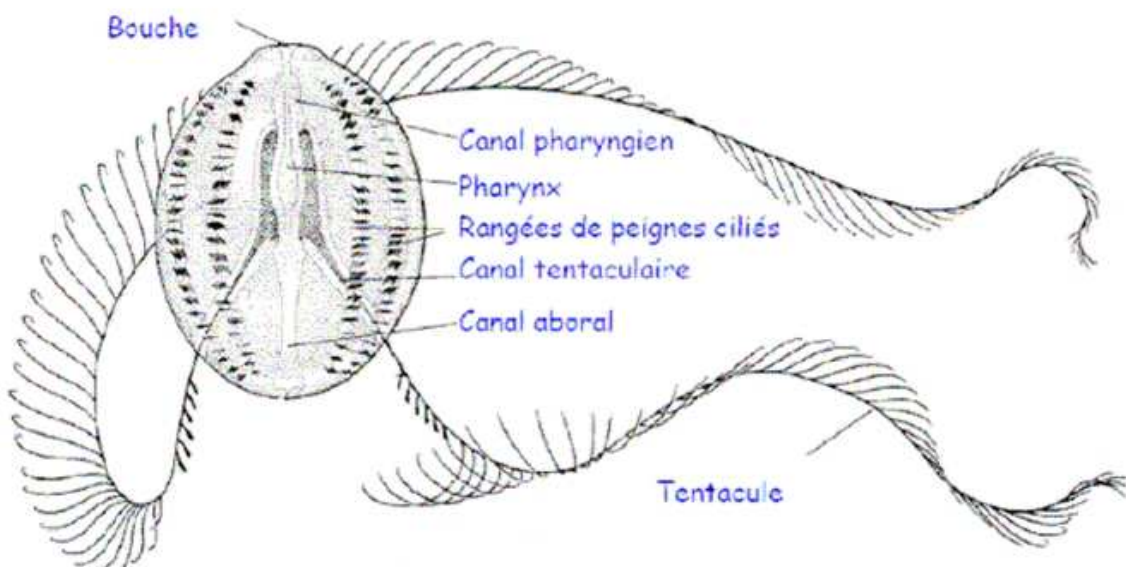


Figure 26: Anatomie générale des Cténaires

2. Les Métazoaires Tridermiques

Les Métazoaires Tridermiques sont caractérisés par : (Figure 27)

- Organisme à trois couches, caractérisées par une symétrie bilatérale. Le corps aplati dorsoventralement, les orifices orale et génitale s'ouvrent la plupart du temps sur la surface ventrale ;
- Organisme acoelomate outre que le tube digestif, les organes remplissent le parenchyme ;

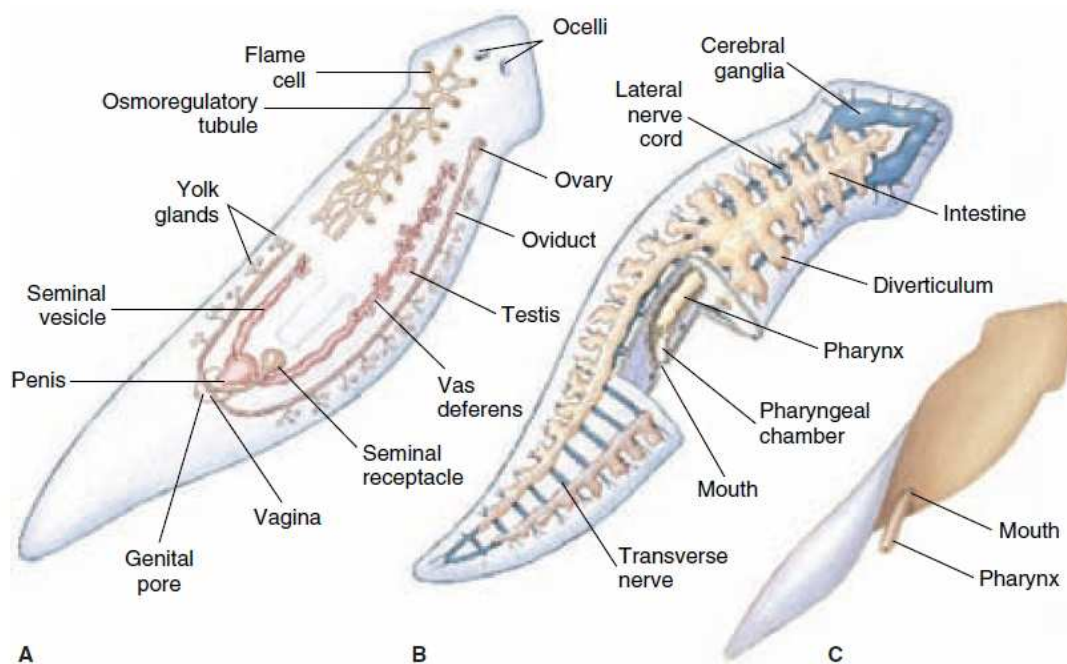


Figure 27 : Organisation générale des Métazoaires Tridermiques

A : Appareil reproducteur et circulatoire, B : Appareil digestif et système nerveux, C : Ouverture ventrale de l'orifice unique du tube digestif

- L'épiderme peut être cellulaire ou syncytial comme chez les Trematodes et les Cestodes ;
- Le système musculaire d'origine mesodermal, organisé sous l'épiderme ou le tégument sous forme d'une gaine de couches circulaires, longitudinales, et obliques ;
- Le système digestif inachevé (type gastrovasculaire) ; absent chez certains ;
- Le système nerveux incrusté dans le parenchyme, se composant d'une paire de ganglions antérieur avec des cordes neurales longitudinales et transversaux ;
- Les organes sensoriels simples ; chez certains les yeux sont présents ;

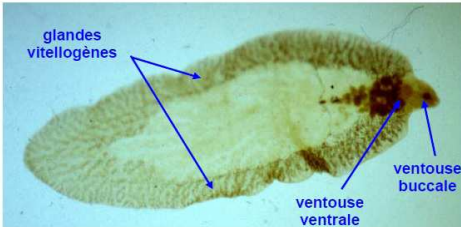
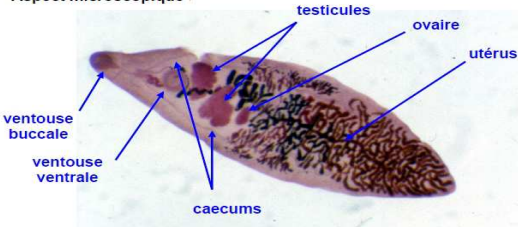
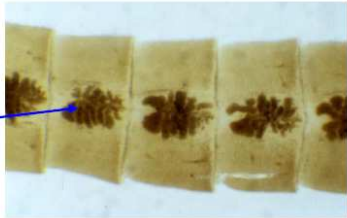
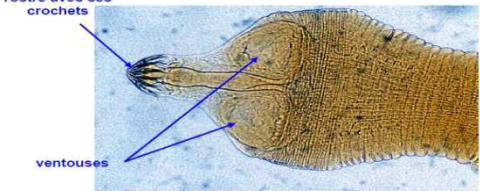
- Le système excrétoire est formé de deux canaux latéraux avec des branches soutenant les protonephridia ;

-Le système reproducteur est complexe, habituellement formé par des gonades bien développées et des organes accessoires ; la fécondation est interne. Le cycle de vie est simple chez les formes libre (déplacement dans l'eau); il est assez compliqué quant les formes biologiques évoluent chez différentes hôtes ;

- Absence des systèmes respiratoires, circulatoires, et squelettiques. Les échanges gazeux s'effectuent à travers le tégument. Les canaux lymphatiques sont représentés par des cellules libres dans certains trématodes.

2.1. Embranchement des plathelminthes

Ce sont des vers plats à corps non segmenté (**Classe des Trématodes**) ou segmenté (**Classe des Cestodes**)

Classe des Trématodes	Classe des Cestodes
<ul style="list-style-type: none"> - vers plats à corps non segmenté - 2 ventouses rapprochées - corps aplati et de forme lancéolée - caecums ramifiés ou non ramifiés selon l'espèce - ovaire situé en arrière des testicules - utérus noirâtre très développé, occupant les 2/3 postérieurs 	<ul style="list-style-type: none"> - vers plats à corps segmenté - segments mûrs plus larges que longs, avec pore génital au 1/3 antérieur de la face Ventrale - segments ovigères presque carrés, avec un utérus central en rosette - scolex avec 4 ventouses, un rostre et parfois des crochets
<p>Aspect microscopique</p>  <p>Localisation : canaux biliaires des Ruminants.</p> <p>Aspect microscopique :</p>  <p>Localisation : canaux biliaires des Ruminants (Mouton principalement).</p>	 <p>utérus « en rosette »</p> <p>Aspect microscopique</p>  <p>rostre avec ses crochets</p> <p>ventouses</p>

2.1.1. Classe des Trématodes

- ✓ Le cycle de vie typique d'un trématode à trois hôtes (Petite douve=*Dicrocoelium lanceolatum*)

Le cycle de vie des trématodes a été décrit par de nombreux auteurs (Boudouresque 2007, Combes 2001). Il commence par la libération des oeufs dans l'eau. Ils donnent naissance à des miracidium, qui sont des larves généralement nageantes. Elles rentrent dans un mollusque, l'hôte primaire, et se transforment rapidement en un sac de sporocystes. A l'intérieur de ces derniers, des cellules germent pour former des rédies, qui se différencient eux-mêmes en cercaires. Les cercaires s'échappent par les gonades du mollusque parasité. Ils sont capables de nager en pleine eau, mais leur durée de vie y est de quelques heures. Ils s'enkystent ensuite sous forme de métacercaires dans l'hôte secondaire dont le groupe taxonomique est variable. Là, ils attendent que leur hôte secondaire soit consommé par son prédateur, un vertébré adulte. Certains favorisent même la prédation de l'hôte intermédiaire pour atteindre leur hôte final. Dans ce dernier hôte, il y a formation des adultes hermaphrodites dans le tube digestif. Ils y pondent des oeufs qui vont être évacués vers l'extérieur. Et le cycle recommence.

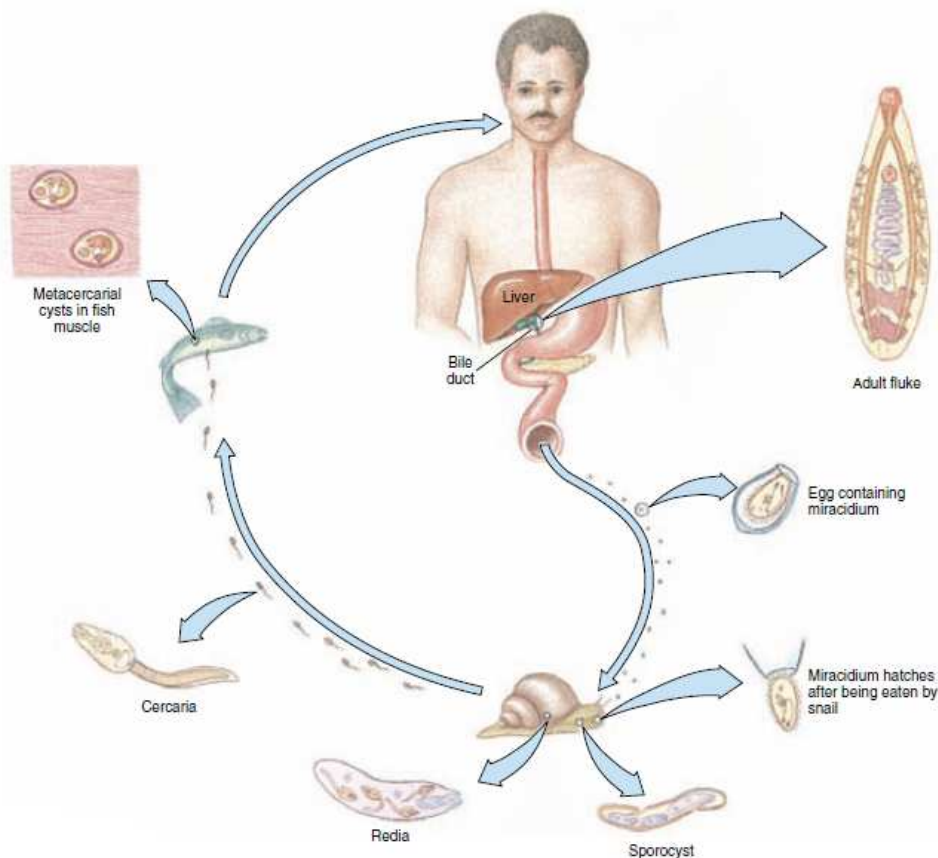


Figure 28 : Cycle de vie typique d'un trématode à trois hôtes (la petite douve)

✓ Le cycle de vie typique d'un trématode à deux hôtes (Grande douve= *Fasciola hepatica*)

Ces trématodes, mesurant jusqu'à 5cm, vivent dans les canaux biliaires, où chaque adulte pond quelque 20'000 oeufs par jour. Ces derniers sont évacués avec la bile dans l'intestin puis rejetés dans l'environnement avec les excréments (Figure 29).

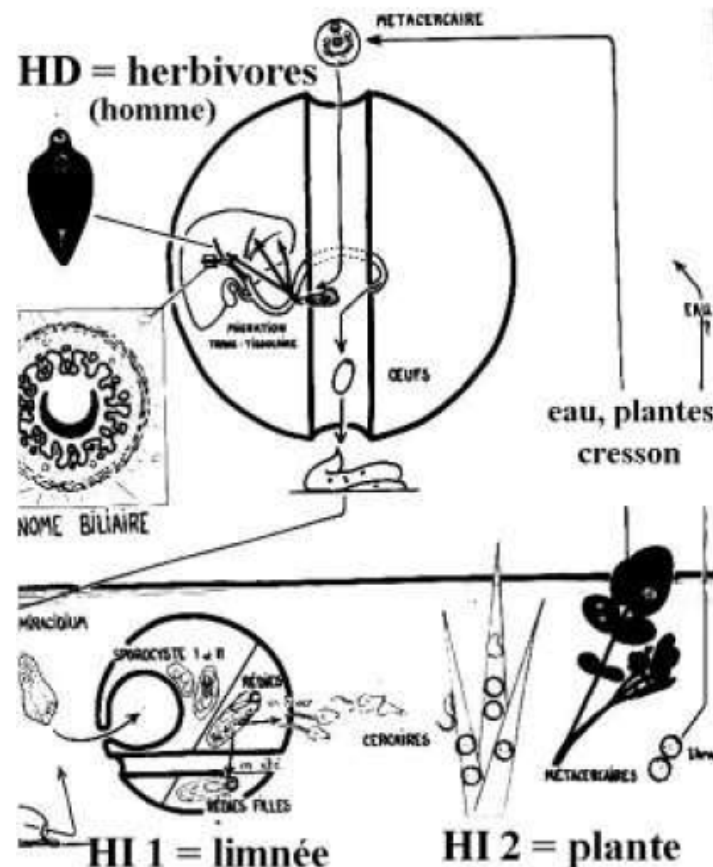


Figure 29 : Cycle de vie typique d'un trématode à deux hôtes (la grande douve)

Si les oeufs tombent dans un milieu humide ou trempé, les larves ciliées (miracidium) éclosent après une phase de développement de deux à trois semaines, par conditions de température optimales. Le manque d'humidité tue rapidement les oeufs, toutefois celle des excréments dans lesquels ils sont renfermés est souvent suffisante. Dans le purin, les oeufs peuvent survivre pendant 8 à 11 semaines. Dans le fumier entassé, ils meurent après environ 10 jours. Un hôte intermédiaire est indispensable pour la suite du développement de la grande douve du foie. La larve une fois éclosée pénètre dans un mollusque aquatique (limnée) pour y poursuivre son développement et se multiplier. Le mollusque infecté excrétera pendant des semaines, voire des mois, des larves au stade cercaire qui se fixent aux herbes et s'y transforment en métacercaires (stade infectieux). Ces métacercaires

peuvent survivre jusqu'à 6 mois dans le foin; dans l'ensilage par contre, elles meurent après une dizaine de jours, en raison du manque d'oxygène. L'infection du bovin (hôte définitif) a lieu par l'ingestion de fourrage infesté de métacercaires. Dès que les larves ont atteint l'intestin grêle, les jeunes douves éclosent. Elles traversent la paroi intestinale, migrent vers le foie où elles peuvent occasionner d'importants dégâts avant de pénétrer dans les canaux biliaires. Les premiers oeufs sont excrétés deux à trois mois après l'infection. La présence de douves conduit à une irritation permanente qui entraîne des inflammations. L'importance des dégâts causés au foie dépend du nombre de douves. La durée de vie d'une grande douve du foie, dans le bovin, est de neuf mois. Les symptômes externes d'une infection éventuelle sont une chute des performances, un manque d'appétit, une perte de poids, un ralentissement de la croissance chez les jeunes animaux et des muqueuses blêmes. La présence de douves du foie dans les canaux biliaires ou dans le foie lors de l'abattage, qui entraîne la confiscation du foie, permet de diagnostiquer l'infection avec sécurité.

2.1.2. Classe des Cestodes

✓ Le cycle de vie typique Ténia du chien, *Taenia pisiformis*

Le ver solitaire *Taenia pisiformis* est un parasite commun des chiens (en particulier les chiens de chasse) et des lapins. Son hôte définitif (dans lequel habite la forme adulte) est le chien et son hôte intermédiaire est le lapin. Les vers adultes s'attachent à la paroi interne du petit intestin. Le corps plat, en forme de ruban, consiste en une série linéaire d'unités reproductrices, les proglottis. Le corps peut être subdivisé en trois régions principales: le scolex antérieur (la "tête") équipé de crochets et ventouses (Figure 30), le cou étroit qui est le site de la production asexuée de nouveaux proglottis, et le strobile comprenant le reste des proglottis en maturation (Figure 31). Les proglottis ne sont pas considérés comme de vrais segments à cause de la façon dont ils sont formés et parce que chaque proglottis est une unité reproductrice complète et séparée. Le niveau de maturité des proglottis augmente en s'éloignant du scolex. Les proglottis gravides qui sont complètement remplis d'oeufs se détachent du strobile et sont évacués avec les matières fécales du chien. À ce stade, les oeufs contiennent une larve appelée oncosphère et sont très résistants à la dessiccation.

Les lapins deviennent les hôtes intermédiaires lorsqu'ils ingèrent ces proglottis. Les oncosphères éclosent dans l'intestin du lapin, perforent la paroi de l'intestin et entrent dans le foie par les veines portes. Là ils se développent en larves cysticerques qui ressemblent à des sacs avec un scolex invaginé. Après avoir atteint une taille de 10 mm, ils sortent du foie, creusant pour se rendre dans le mésentère. Ils demeurent là jusqu'à ce que le lapin soit mangé par un chien ou autre carnivore. Les larves cysticerques s'attachent alors à la paroi du petit intestin du chien et se développent en vers adultes, complétant le cycle de vie.

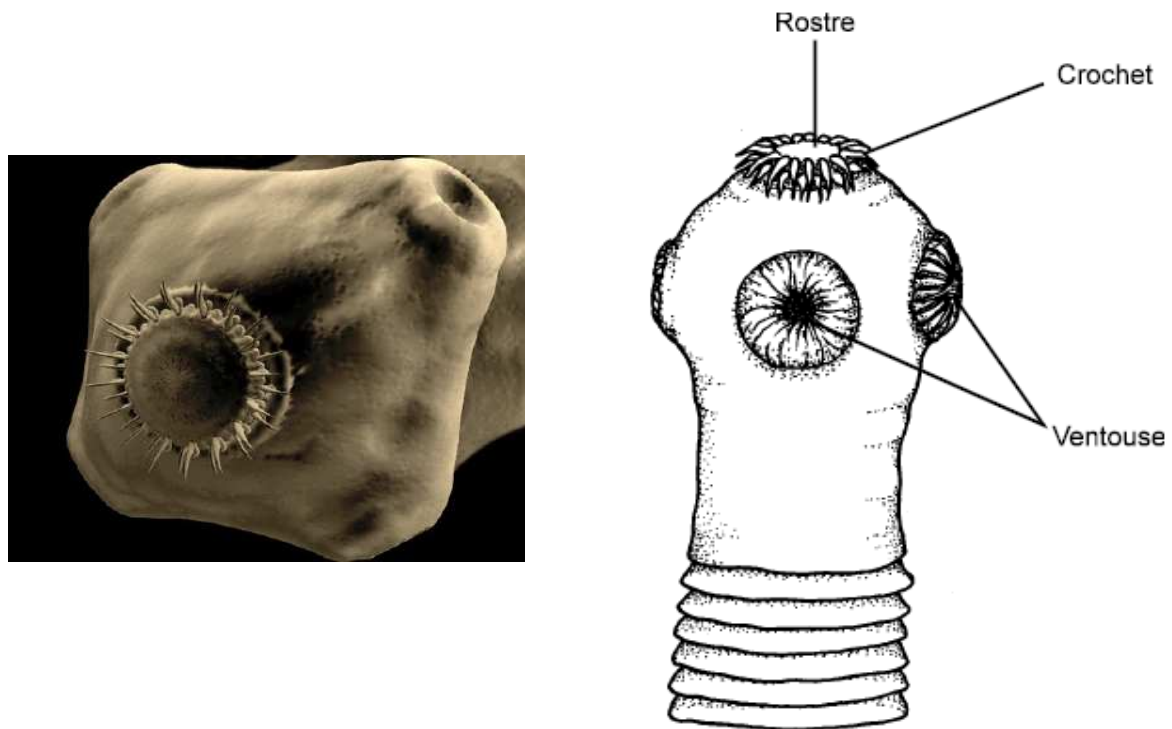


Figure 30 : Scolex d'un ver solitaire

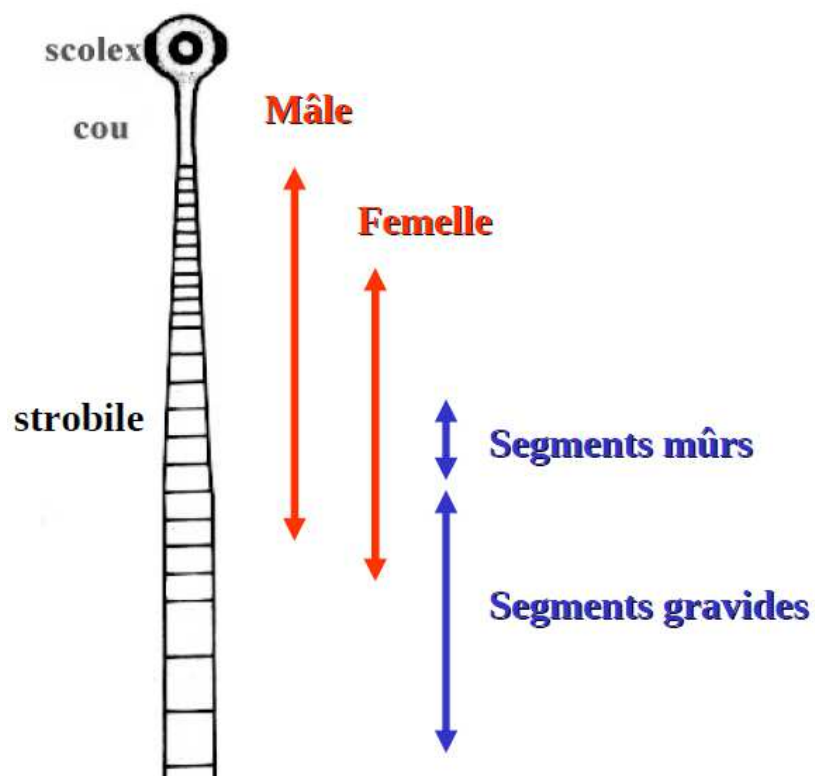


Figure 31 : Maturation des systèmes reproducteurs

✓ Anatomie interne d'un proglottis mûre

À l'intérieur du même proglottis, le vagin apparaît comme un mince tube reliant le pore génital au réceptacle séminal. Le réceptacle est lui-même relié à l'ootype (site de la fécondation et de l'addition de vitellus). L'ootype est aussi relié à la glande vitellogène et à un ovaire divisé (via l'oviducte). La glande de Mehlis est également associée avec l'ootype (sa fonction est indéterminée). L'échange du sperme peut se faire entre deux proglottis provenant du même ver, ou bien provenant de deux vers différents. Le sperme entre dans le pore génital, passe par le vagin et se rend jusqu'au réceptacle séminal. Il se déplace ensuite vers l'ootype où a lieu la fécondation. Les zygotes sont rapidement enrobés de vitellus provenant de la glande vitellogène. La façon dont la coquille est formée demeure incertaine. Ces zygotes sont ensuite entreposés dans l'utérus qui devient de plus en plus ramifié à mesure qu'il se remplit (Figure 32).

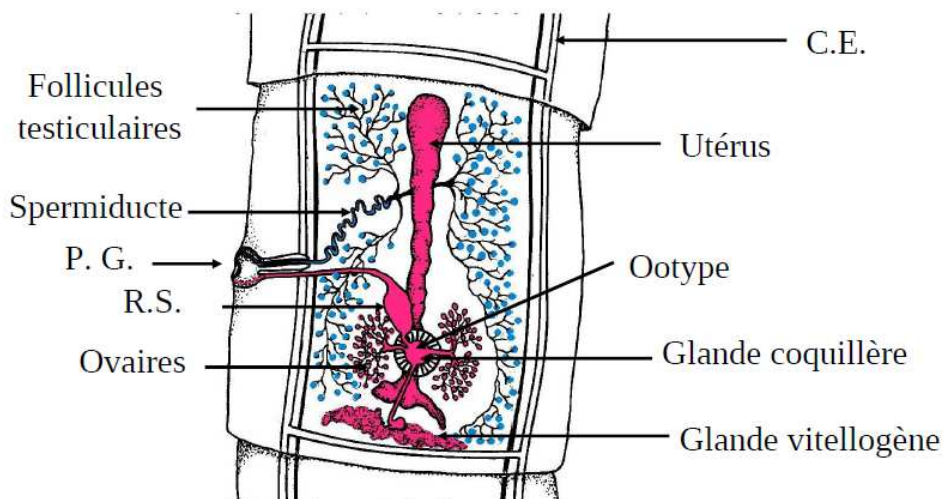


Figure 32 : Anatomie interne d'un proglottis mûre du Ténia du chien, *Taenia pisiformis*

2.2. Embranchement des némathelminthes

Les nématodes partagent plusieurs caractéristiques avec les vers plats: la symétrie bilatérale, un squelette hydrostatique, une segmentation spirale, l'absence d'appendices, la céphalisation, la colonisation d'habitats variés, la présence d'un épiderme syncytial et l'absence de système respiratoire et circulatoire. Cependant, ils possèdent plusieurs traits uniques et importants: un pseudocoelome, une cuticule complexe, un système digestif complet non-ramifié, des cellules de renette (pas des protonéphridies), ils ont uniquement des muscles longitudinaux, l'absence de cils ou de flagelles sauf dans les récepteurs sensoriels, et l'eutécie.

✓ Parasitoses liées aux nématodes (=exemple d'*Ascaris lumbricoides*)

Ascaris lumbricoides est un des plus grands et des plus communs parasites de ce groupe d'organismes (Figure 33). Au stade adulte, il vit dans le petit intestin du porc, en consommant la nourriture digérée de l'hôte et des bactéries. Un grand nombre d'œufs sont produits et évacués avec les matières fécales du porc. Dans l'environnement externe, le jeune ver se développe et mue à l'intérieur de l'œuf résistant. S'il est avalé par un porc, il entre dans la circulation sanguine, pénétrant le foie, le cœur et finalement, les poumons. À cause de sa taille croissante, il déchire les capillaires du poumon et entre dans la cavité pulmonaire, où il mue de nouveau (Figure 34). Il migre ensuite à travers la trachée et tout le tube digestif jusqu'au petit intestin (Figure 35). Le ver continue à croître pour près d'un mois, subit une autre mue et puis atteint sa maturité sexuelle.



Figure 33 : Ascaris adulte

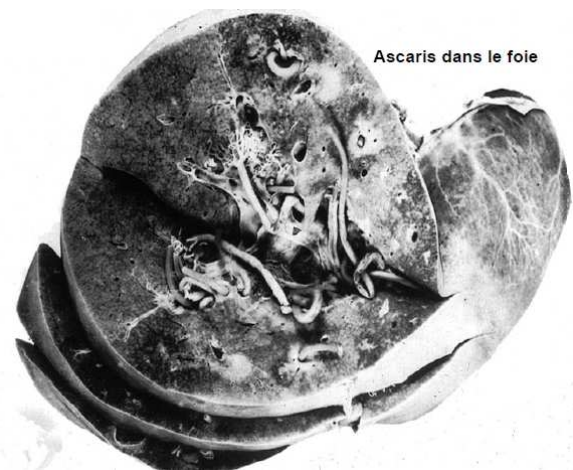


Figure 34 : Infestation du foie par l'Ascaris



Figure 35 : Sortie d'Ascaris

✓ Anatomie interne

Les Parois sont formées par l'imbrication de 3 tuniques successives 1 la cuticule, l'hypoderme et la couche musculaire (Figure 36). La cuticule, lisse et brillante, transparente par endroits est ankyste ; à la lumière d'analyses chimiques, on pense qu'elle est constituée des combinaisons complexes de muco-protéines riches en polysaccharides et fortement polymérisées. Elle ne serait pas seulement une barrière assurant une protection mécanique mais elle posséderait une activité chimique propre.

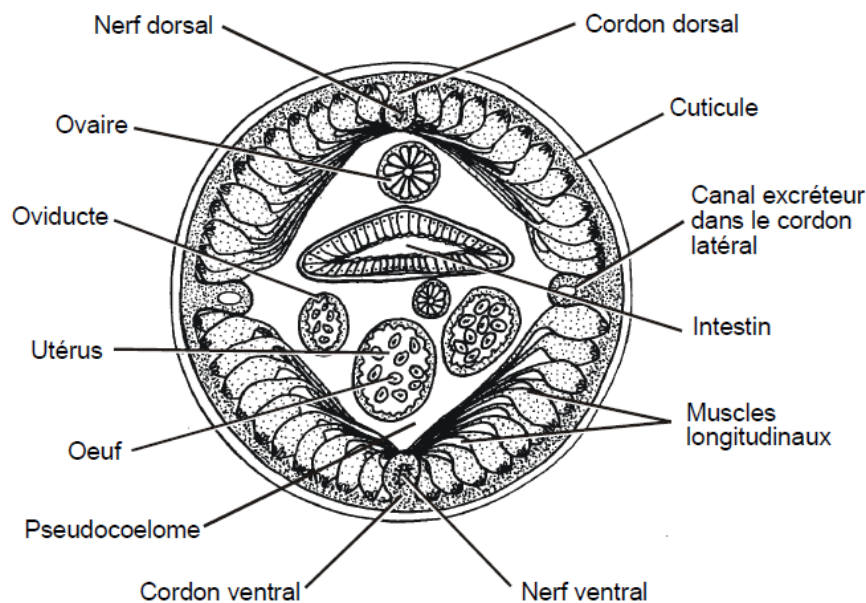


Figure 36 : Coupe transversale de la femelle d'*Ascaris lumbricoides* au niveau de l'intestin

La cuticule recouvre une couche sous-cuticulaire, l'hypoderme granuleux et nucléé. Ce dernier s'épaissit en certains points et détermine de la sorte sur toute la longueur du corps la formation de 4 bourrelets longitudinaux qui font saillie dans la cavité viscérale sous-jacente'; deux d'entre eux constituent les lignes médio-ventrale et médio-dorsale, les deux autres, les lignes latérales droite et gauche ; elles divisent donc la face interne des téguments en 4 champs symétriques où viennent s'insérer les cellules myoépithéliales de la couche musculaire.

La couche musculaire comprend un grand nombre d'éléments piriformes volumineux insérés par leur extrémité basilaire effilée à myofibrilles striées sur l'hypoderme, tandis que leur portion distale, renflée cytoplasmique et nucléée, est libre dans la cavité viscérale centrale. Une telle structure musculaire est typique de la famille des Ascaridés qui sont dits

pour ce motif polymyaires ; sa découverte sur des coupes est l'élément très sûr du diagnostic anatomo-pathologique d'ascaridiose.

Toutes ces structures délimitent une cavité viscérale qui renferme un liquide incolore, albumineux, peuplé de cellules aniboïdes, le liquide péri-entérique ou coelomique bien connu dans les laboratoires pour ses émanations irritantes. Au sein de ce liquide, baignent les différents viscères:

✓ Morphologie externe

La bouche est pourvue de trois lèvres, une dorsale et deux latéro-ventrales. Le pore excréteur est situé sur le côté ventral, à peu près 2 cm derrière la bouche. Du même côté, à environ 2 mm de l'extrémité postérieure, se retrouve l'anus en forme de fente. Tout au long de chaque côté du corps sont insérés les cordes latérales ou les canaux excréteurs. Le mâle est plus petit que la femelle et son extrémité postérieure est recourbée, deux spicules copulateurs ressortent parfois de l'ouverture cloacale du mâle, et l'ouverture génitale mâle se retrouve au niveau de l'intestin postérieur et de l'anus. L'extrémité postérieure de la femelle est normalement droite, et l'ouverture génitale ventrale se retrouve un peu postérieure à la bouche.

La bouche s'ouvre vers le stomodeum (tube digestif antérieur) revêtu d'endoderme, composé d'une cavité buccale suivie d'un pharynx musclé. L'oesophage est situé après le pharynx, et une constriction indique le début de l'intestin moyen aplati qui se poursuit sur presque toute la longueur de l'animal. Un court proctodeum (intestin postérieur) revêtu d'endoderme se termine par un anus préterminal. Les canaux excréteurs se retrouvent dans les deux lignes latérales (Figure 37).

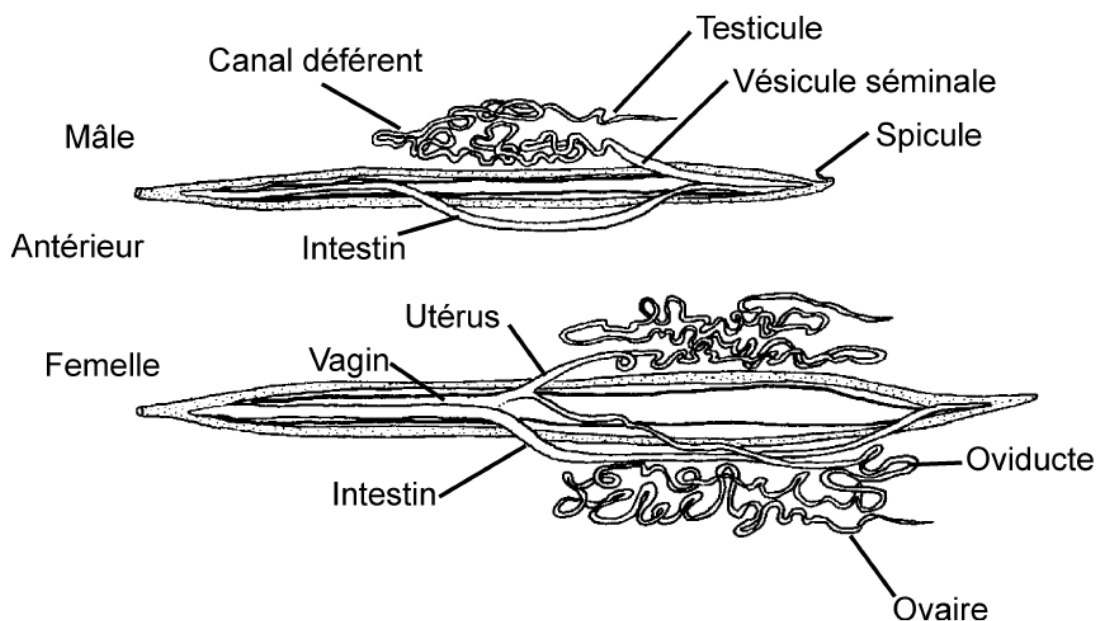


Figure 37 : Les vers mâle et femelle d'*Ascaris* montrant les structures internes

En se déplaçant vers l'avant, les deux canaux sont reliés par un conduit transverse. Une ramification de ce conduit (le canal terminal) se rend jusqu'au pore excréteur. Tout ce système est composé de seulement trois cellules. Chez les femelles, les organes reproducteurs se retrouvent dans le deux-tiers postérieurs de la cavité corporelle. Le vagin commence à partir du pore génital, se ramifie en deux utérus plus épais qui s'étendent postérieurement presque jusqu'au bout du ver avant de se retourner vers l'avant et devenir les oviductes. Ceux-ci sont enroulés et s'amincissent, devenant deux ovaires filamenteux en peloton. Les œufs quittent l'ovaire, sont fécondés dans l'oviducte, entourés d'une coquille chitineuse et entreposés dans l'utérus. Chez les males, au niveau de l'extrémité postérieure recourbée sont présents deux petits sacs contenant les spicules copulateurs. Durant la copulation, ceux-ci sont sortis et insérés dans l'ouverture génitale de la femelle. Le canal éjaculateur s'élargit en une longue vésicule séminale, qui se poursuit vers l'avant et se resserre brusquement pour devenir le canal déférent. Ce canal s'enroule sur lui-même, devenant progressivement plus mince et devient finalement le testicule, un peloton de minces filaments blancs.

2.3. Embranchement des annélides

- Introduction

Les annélides sont des animaux vermiformes ne possédant pas de pattes. Le mot ver désigne donc un grand nombre d'animaux qui ne sont ni des Mollusques ni des Arthropodes. Ces 14 embranchements dérivent tous d'un ancêtre commun Plathelminthe, mais ont peu d'autres choses en commun. Les annélides sont diversifiés où on note trois différentes architectures: les Polychètes marins, les lombrics et les sangsues.

Le lombric (ver de terre) servira à illustrer l'architecture générale des Annélides, avec une présentation des principaux organes ainsi que les caractéristiques externes et internes des membres de l'embranchement. Les Annélides sont un des embranchements actuellement les plus diversifiés (le 7^{ème}) et possèdent plusieurs adaptations importantes qui ont assuré leur succès.

✓ Origine évolutive des Annélides

Chez les Annélides il y a eu trois adaptations importantes:

- L'apparition d'un vrai coelome ;
- La métamérisation ;
- Le développement d'un système circulatoire.

Le coelome permet le mouvement péristaltique par le passage d'une onde de contraction de l'arrière vers l'avant de l'animal. Ce mouvement péristaltique n'est cependant pas très efficace à moins que le coelome ne soit segmenté de manière à ce que chaque segment puisse fonctionner comme un squelette hydrostatique indépendant. Le coelome et la segmentation permirent donc aux Annélides de mieux se déplacer, mais surtout de pouvoir fouir efficacement et ainsi exploiter de nouvelles ressources inaccessibles aux planaires.

Les sédiments marins, au moment de l'apparition des Annélides il y a de cela 600 millions d'années, contenaient déjà d'importantes quantités de matériel organique. Ce matériel, exploité en surface par plusieurs types d'organismes rampants et suspensivores, devenait inaccessible dès qu'il était recouvert par de nouvelles particules. L'apparition des soies permit d'améliorer encore la locomotion des Annélides et d'exploiter cette riche source de nourriture.

La métamérisation causa cependant un problème aux premiers Annélides. Chez ces animaux il y a un tube digestif complet qui permet une digestion séquentielle. Certaines régions sont spécialisées pour moudre la nourriture, d'autres pour la sécrétion d'enzymes ou pour l'absorption des nutriments. Cela implique que certains des métamères, isolés les uns des autres, ne sont pas en contact direct avec les éléments nutritifs puisqu'ils ne contiennent pas une section du tube digestif où se fait l'absorption de ces éléments. Les métamères antérieurs, s'ils étaient parfaitement isolés des métamères postérieurs, ne pourraient donc pas avoir accès à ces éléments nutritifs. Comment alors avoir accès au matériel nécessaire?

L'apparition de la segmentation fut donc accompagnée de l'apparition d'un système circulatoire permettant à chaque métamère de recevoir suffisamment d'éléments nutritifs. Ce système circulatoire sert également à distribuer l'oxygène dans tout le corps. L'apparition de pigments respiratoires est aussi venue augmenter l'efficacité de cette distribution de l'oxygène.

✓ Quelques architectures d'Annélides

Certains des Annélides les plus primitifs vivent dans les sédiments marins où ils s'enfouissent plus ou moins profondément. Certains vers sédentaires vivent dans des tubes qui les protègent et utilisent leurs tentacules pour capturer leur nourriture à la surface des sédiments alors que d'autres, plus spécialisés, se nourrissent en filtrant l'eau qu'ils font circuler dans leur terrier. Certains Polychètes errants ont complètement quitté leur terrier et peuvent nager en se servant de leurs parapodes comme rames pour augmenter l'efficacité des ondulations du corps comme mode de locomotion. Chez ces vers errants, le côté droit et le côté gauche de chaque métamère sont cloisonnés et ce cloisonnement augmente l'efficacité de la locomotion.

Les vers de terre illustrent bien les adaptations de l'architecture des Annélides à la vie en milieu terrestre. Leur impact sur les sols est d'ailleurs aussi important que celui des Polychètes sur les sédiments marins. Les lombrics permettent un enrichissement des sols en accélérant le recyclage des éléments nutritifs en milieu terrestre. Il n'y a pas de cloison entre le côté gauche et le côté droit du coelome chez ces vers qui se déplacent en fouissant dans le substrat en ligne droite.

La sangsue est atypique des Annélides. Son coelome est réduit à une série de sinus qui entourent les organes internes et le système circulatoire.

✓ Le ver de terre, *Lumbricus terrestris*

L'exemple classique utilisé pour décrire les Annélides, particulièrement les Oligochètes, est le ver de terre commun, *Lumbricus terrestris*. Ce genre cosmopolite et terrestre bien connu habite des sols qui ne s'assèchent pas, qui ne sont pas trop acides et qui sont riches en matière organique. Les tunnels sont creusés en partie en compactant la terre de chaque côté et en partie en l'avalant; leur surface est couverte de terre déféquée qui agit comme un ciment. Ils s'étendent parfois à plus de deux mètres de profondeur, et chacun se termine habituellement par une petite chambre. Les tunnels les plus profonds sont construits par temps froid, quand le ver recherche la chaleur, et par temps chaud, lorsqu'ils doivent éviter la dessiccation. Normalement, le ver émerge la nuit seulement quand, avec sa queue ancrée à l'embouchure du tunnel, il rassemble des débris végétaux pour se nourrir.

✓ Anatomie externe

Le corps à une extrémité antérieure cylindrique et en forme de pointe et une extrémité postérieure aplatie. La surface dorsale est identifiable par sa pigmentation plus foncée et par la ligne médiane foncée du vaisseau sanguin dorsal qui peut être vue à travers la paroi du corps. Les soies se trouvent sur tous les segments sauf le premier et le dernier. La tête est composée d'un prostomium et d'un péristomium. La bouche est située à la base du premier segment, le péristomium, qui entoure l'ouverture orale. Le prostomium, qui est immédiatement antérieur n'est pas considéré comme un véritable segment (Figure 38).

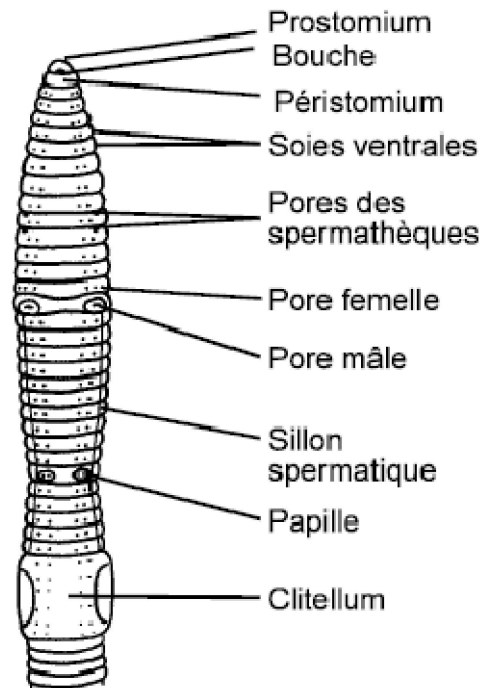


Figure 38 : Anatomie externe d'un ver de terre

✓ Anatomie interne

Le système digestif débute des segments 1-3 à l'extrémité antérieure du canal alimentaire forment la région orale qui mène (au niveau des segments 4 et 5), au pharynx dont la paroi est épaisse. Le pharynx est connecté à la paroi du corps par sa musculature. L'oesophage, dont la paroi est mince, s'étend du segment 6 au segment 13 ou 14. Des segments 14 ou 15 au segment 16 on trouve le jabot et du segment 17 au segment 19 se trouve le gésier musculueux qui broie la nourriture à l'aide de petites pierres. L'intestin parcourt le reste du corps sous son enveloppe lâche faite de tissu chloragogène. Ces cellules péritonéales modifiées fonctionnent comme un foie, synthétisant et stockant des graisses et du glycogène (Figure 39).

Le système circulatoire est fermé et bien développé avec des éléments contractiles, des réseaux de vaisseaux et de capillaires. Sur la surface supérieure de l'appareil digestif se positionne le vaisseau dorsal contractile qui fait circuler le sang antérieurement. Cinq paires de crosses aortiques ou cœurs, sont situés dans les segments 7 à 11. Les crosses aortiques se rattachent au vaisseau ventral (Figure 39).

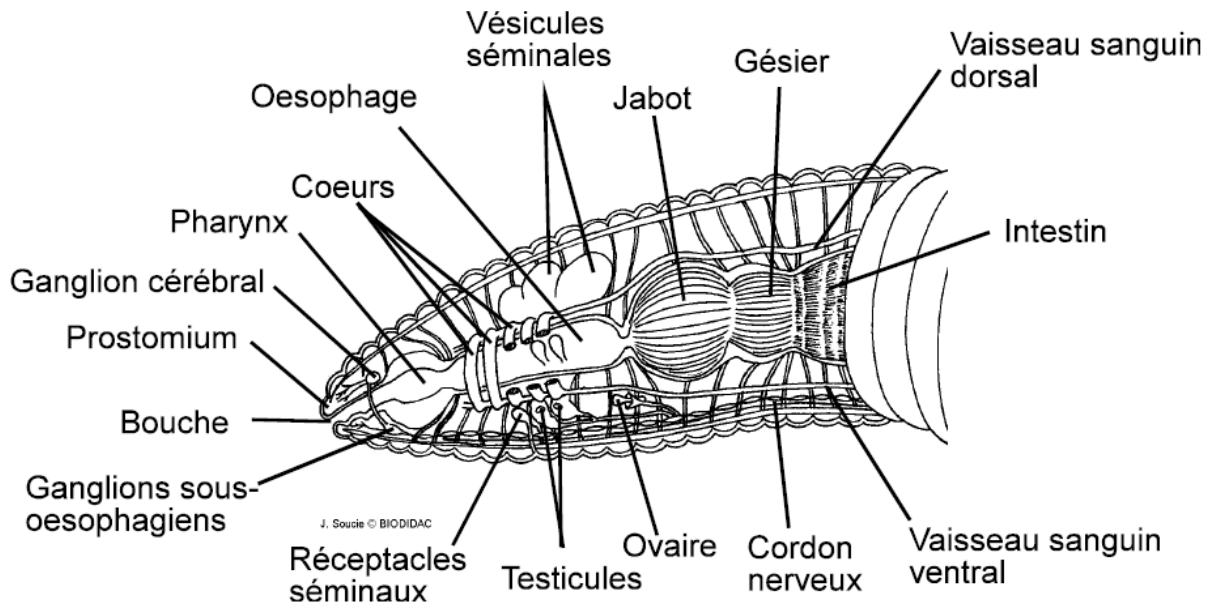


Figure 39 : Structure appareil vitaux d'un ver de terre

Le système reproducteur est caractérisé par la présence de 3 grosses vésicules séminales, qui font partie du système mâle et qui stockent le sperme avant qu'il ne soit libéré. Le sperme est libéré de deux petits testicules qui sont situés sur les septums entre le 9^e et le 10^e segment et entre le 10^e et le 11^e segment, dans les vésicules séminales. Une fois que les spermatozoïdes sont mûrs ils passent à travers les canaux ciliés, le canal déférent et sortent par les ouvertures génitales mâles. Le système reproducteur interne femelle est simple formé d'un minuscule ovaire qui pend du septum antérieur près de la ligne mi-ventrale. Les oeufs sont libérés de l'ovaire et passent dans le canal situé sur les septums adjacents et de là, passent dans l'oviducte vers l'ouverture génitale femelle (Figure 39).

2.4. Embranchement des mollusques

2.4.1. Evolution des mollusques

Les mollusques les plus primitifs avaient un corps mou et tout comme leur ancêtre le ver plat, dépendaient beaucoup de l'action des cils pour la plupart des fonctions. La locomotion, par exemple, s'accomplissait par l'action de cils qui propulsaient l'animal sur une couche de mucus. Dans le système digestif, ce sont les cils qui propulsaient la nourriture au travers du tube digestif. Ce sont également les cils qui ventilaient les surfaces respiratoires des cténidies.

Ces animaux ancestraux à corps mou étaient des proies faciles pour les prédateurs existant à cette époque. L'épithélium ancestral avait alors beaucoup de cellules sécrétrices, et celles situées à la face dorsale produisaient des spicules de calcaire en guise de

protection. Éventuellement ces dépôts calcaires se sont soudés pour former **la coquille** dorsale caractéristique des mollusques. **La masse viscérale** fut alors protégée, non sans créer un autre problème. Cette coquille réduisait la surface de contact pour les échanges respiratoires. Une partie de la paroi corporelle, protégée dorsalement par la coquille, forma alors les branchies, et l'espace qu'elles occupaient devint la cavité du **manteau**. **Le pied musculueux** se développa sur la surface ventrale et se spécialisa pour la locomotion. La masse viscérale dorsale, le pied, le manteau ainsi que la coquille sont les caractéristiques ancestrales de l'embranchement.

Ce sont les modifications de la cavité du manteau, de la coquille sécrétée par ce manteau ainsi que la plasticité morphologique du pied et de la masse viscérale qui ont mené à l'extraordinaire diversité des formes chez ces animaux. C'est ainsi qu'une variété spectaculaire d'organismes sont réunis dans cet embranchement qui est le deuxième plus diversifié (Figure 40).

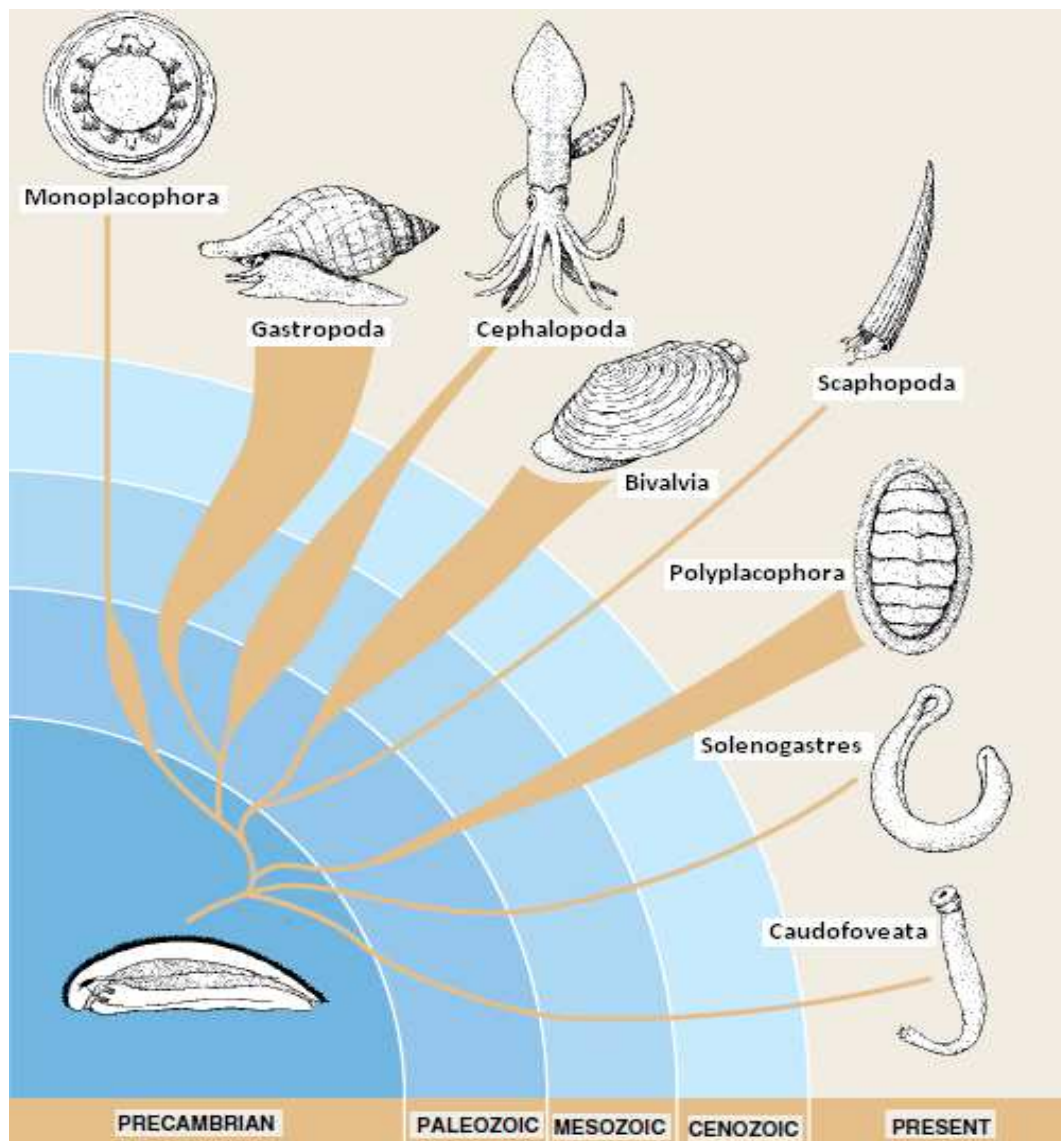


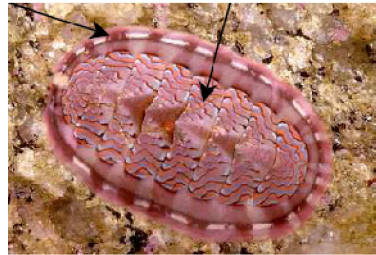
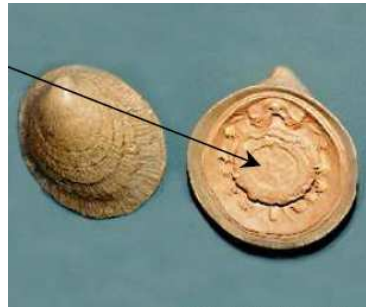


Figure 40 : Phylogénie des mollusques

2.4.2. Classification des mollusques

Les mollusques sont estimés actuellement à près de 117 000 espèces, avec près de 70 000 espèces fossiles, dont les plus anciennes datent du Cambrien (ère I). Ils sont apparus en milieu marin puis colonisèrent les milieux terrestre et dulcicole. Parmi les traits caractéristiques majeurs : Corps mou, triploblastiques, hyponeuriens, coelomates et non métamérisés. Huit classes sont à distinguer à savoir :

<p>✓ Solénogastres (~350 espèces)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas de coquille • Spicules calcaires • Marins • Vermiformes • Tête peu différenciée • Pied peu développé 	
<p>✓ Caudofovéates (~100 espèces)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas de coquille • Spicules calcaires • Marins • Vermiformes • Bouclier pédieux péribuccal • Microphages 	
<p>✓ Polyplacophores (~900 espèces)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marins • Coquille = 8 plaques calcaires articulées = cérames • Corps aplati • Tête différenciée • Pied développé 	
<p>✓ Monoplacophores (~15 espèces)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Marins • Tous fossiles (Paléozoïque) • Sauf genre Neopilina (3500m de profondeur) • Coquille conique en 1 seule plaque • Pied circulaire 	

✓ **Scaphopodes (~ 400 espèces)**

- Marins
- 1 seule famille : Dentalidés
- Coquille tubulaire ouverte
- Pied fouisseur
- Captacules
- Absence de branchies

✓ **Bivalves (~ 12 000 espèces)**

- Aquatiques
- Fouisseurs (pied en forme de hache → Pélécypodes)
- Corps aplati
- Coquille à 2 valves (Bivalves)
- Filteurs, microphages (PAS de radula)
- Branchies = lamelles (Lamellibranches)
- Tête réduite (Acéphales)

✓ **Céphalopodes (~ 900 espèces)**

- Marins
- Céphalisation et cérébralisation maximales
- Capables d'apprentissage
- Prédateurs
- Pied → couronne brachiale + entonnoir

✓ **Gastéropodes (~103 000 espèces)**

- Marins, terrestres, dulcicoles
- Perte de la symétrie bilatérale

**Conséquences**

- Organes initialement à gauche → atrophiés
- Organes initialement à droite → à gauche
- Cavité palléale → déportée vers l'avant (ouverture antérieure)
- Coquille spiralée (exteriorise l'enroulement viscéral)
- Pied très développé → sole de reptation



2.4.3. Morphologie externe

La coquille est constituée d'une seule pièce qui sert de protection au corps de l'animal. Ce dernier, mou et segmenté, présente trois grandes régions :

- La tête qui porte une paire de tentacules contractiles à la base desquels se trouvent les yeux chez les mollusques aquatiques. La bouche comprend généralement une mâchoire chitineuse sur la face dorsale et une radula (sorte de langue râpeuse) sur la face ventrale.
- Le pied est un organe musculueux souvent bien développé qui sert à la locomotion.
- La masse viscérale enveloppée dans une membrane, le manteau, qui sécrète la coquille. Cette masse viscérale comprend les principaux organes.

Chez les Gastéropodes, on note l'existence d'une cavité palléale formée par un repli du manteau, dans laquelle débouche l'anus et l'orifice urinaire. Cette cavité palléale abrite une branchie chez les Prosobranches. Les Pulmonés n'ont pas de branchies mais possèdent une cavité pulmonaire à plafond très vascularisé (Figure 41).

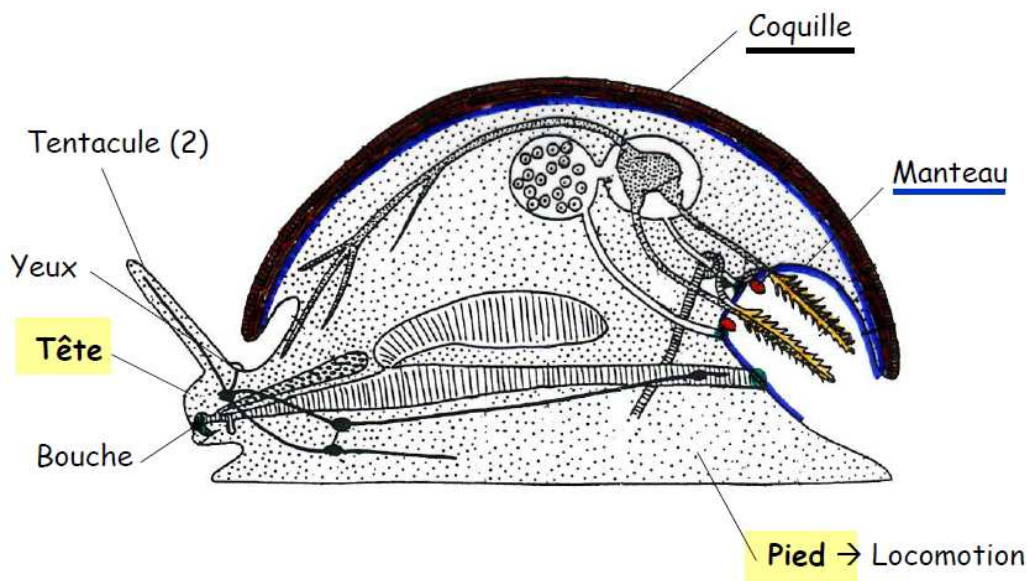


Figure 41 : Morphologie externe des gastéropodes

La coquille (ou test) des mollusques est constituée de carbonate de calcium (calcite et aragonite). Elle est sécrétée par le manteau au fur et à mesure de la croissance de l'animal. Chez les mollusques vivants, la coquille est recouverte d'une fine couche de substance cornée (conchyoline) appelée périostracum qui assure la protection des couches

calcaires. L'intérieur de la coquille est recouvert d'une couche de nacre à l'aspect satiné (Figure 42).

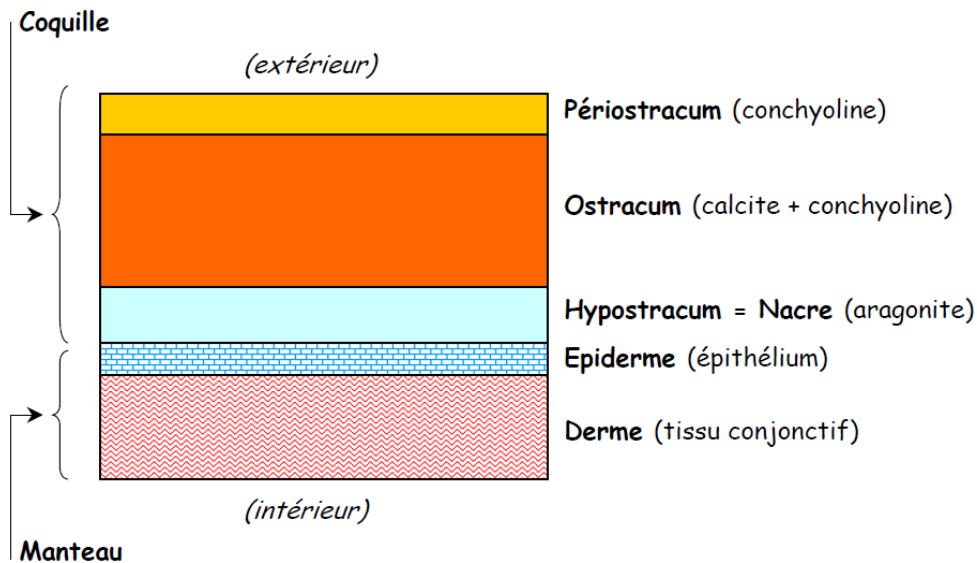


Figure 42 : Structure de la coquille

Chez les Gastéropodes, la coquille d'une seule pièce résulte schématiquement de l'enroulement d'un cône très allongé autour d'un axe appelé Columelle. On parlera de coquille dextre lorsque l'enroulement vu du pôle apical (ou apex) a lieu dans le sens des aiguilles d'une montre, et de coquille senestre dans le cas contraire. A l'exception des Ancyliidae, la coquille comporte plusieurs tours de spire séparés par des sutures (Figure 43). L

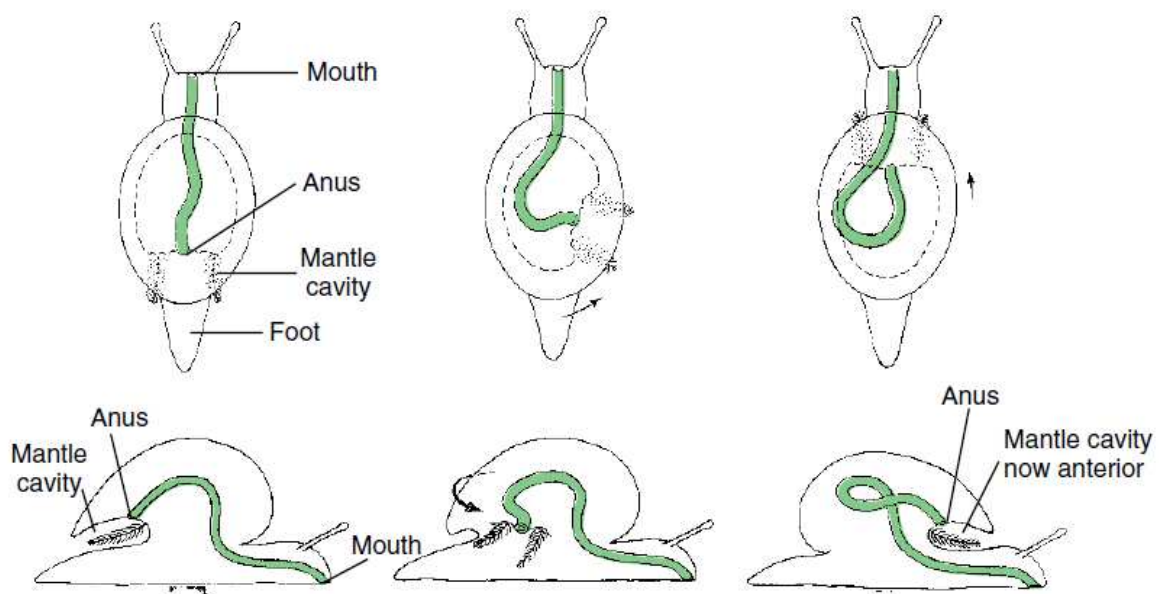


Figure 43 : Enroulement et torsion de la masse viscérale (=Flexion endogastrique)

2.4.4. Morphologie interne

L'**appareil respiratoire** se compose d'une seule branchie située dans la chambre palléale et du côté droit. Elle est formée tout simplement de petites expansions charnues, de forme triangulaire, qui se détachent de la face interne du manteau et se disposent sur une seule rangée comme les dents d'un peigne; on la qualifie pour cela de *branchie monopectinée*. Ces lamelles sont creusées de nombreuses lacunes à travers lesquelles le sang subit l'hématose et sont recouvertes de cils vibratiles. Ajoutons qu'il existe quelques espèces, telles que les Fissurelles et les Haliotis, qui sont voisines des Lamellibranches par leur organisation générale et qui possèdent comme ces derniers deux branchies formées chacune de deux rangées de lamelles triangulaires, ce qui les fait qualifier de *branchies bipectinées*.

L'**appareil circulatoire** comprend en premier lieu un cœur logé dans un péricarde et formé d'un seul ventricule et d'une seule oreillette; il est placé un peu en arrière de la branchie, sur le trajet du sang artériel qui vient de cette dernière. L'oreillette reçoit le sang la première et l'envoie dans le ventricule, qui le chasse à son tour dans une seule aorte. L'aorte est très courte et se divise presque aussitôt en une aorte antérieure pour la région céphalo-pédieuse, et une aorte viscérale qui va dans le tortillon. Leurs dernières ramifications s'ouvrent dans des lacunes ou espaces sanguins entre les éléments cellulaires qui se trouvent ainsi directement imprégnés de sang. Le sang veineux s'accumule ensuite dans des cavités irrégulières ou sinus, également dépourvues de parois propres, pour se rendre ensuite dans les lacunes de la branchie; le système veineux proprement dit fait donc défaut. La position de la branchie en avant du cœur fait dire que la Littorine est un Gastéropode prosobranch (Figure 44).

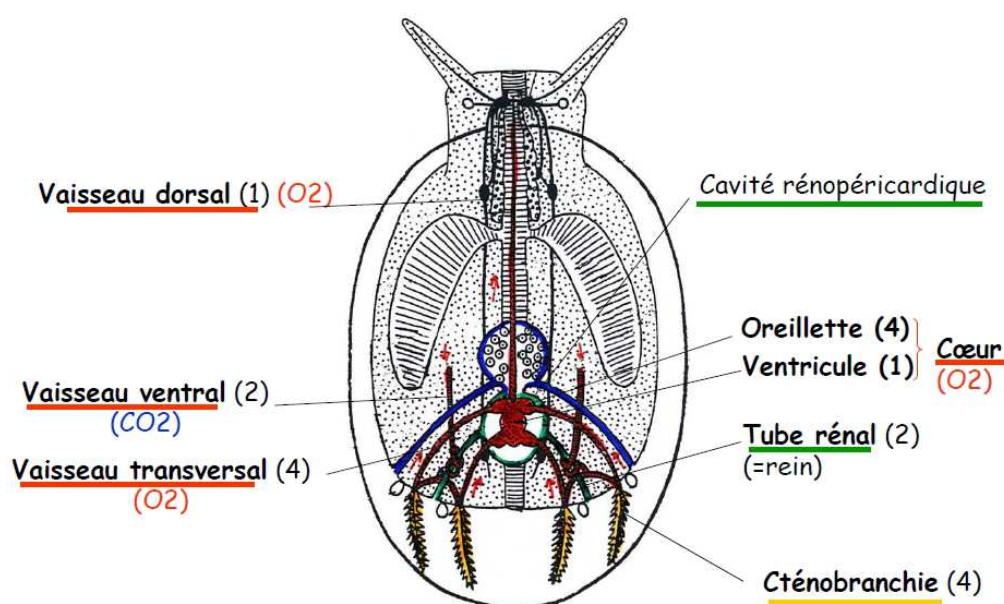


Figure 44 : Organisation de l'appareil circulatoire (vue dorsale)

Le système nerveux se compose d'abord de trois sortes de ganglions

- Deux ganglions cérébroïdes situés au-dessus de l'œsophage et réunis par une courte commissure; ils innervent les yeux, les tentacules tactiles et les otocystes.
- Deux ganglions pédieux réunis par une commissure et innervant le pied; ils sont placés sous l'œsophage et réunis aux cérébroïdes par deux connectifs qui forment un premier collier œsophagien; ils supportent les deux otocystes bien que ceux-ci soient innervés par ses ganglions cérébroïdes.
- Des ganglions viscéraux au nombre de 3 à 5 situés également sous l'œsophage et en arrière ; ils sont reliés aux cérébroïdes par deux grands connectifs formant un second collier œsophagien beaucoup plus long que le premier et appelé encore la grande commissure viscérale (Figure 45).

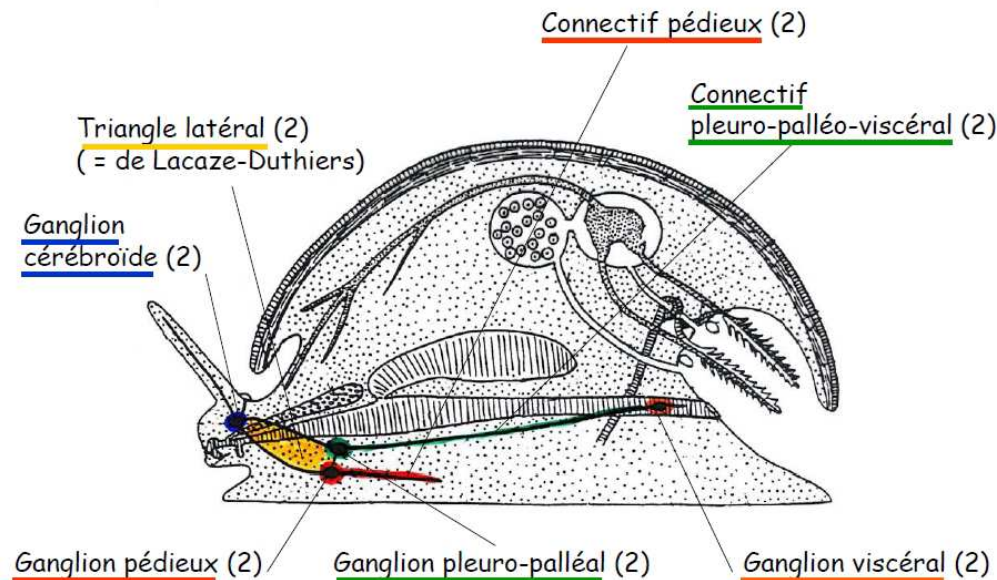


Figure 45 : Organisation du système nerveux (vue latérale)

Mais à cette disposition, qui jusque-là est celle des Lamellibranches, s'ajoutent deux autres paires de ganglions situées sur le trajet des deux grands connectifs reliant les cérébroïdes aux pédieux. Ce sont :

- Les deux ganglions palléaux qui innervent le manteau et sont reliés aux pédieux par deux petits connectifs p et p'; il en résulte que le ganglion cérébroïde, pédieux et palléal d'un même côté forment avec les nerfs qui les relient un triangle à droite et à gauche de l'œsophage, que l'on appelle le triangle latéral des Gastéropodes.

- Deux ganglions intestinaux qui innervent l'intestin. Les deux grands connectifs reliant les cérébroïdes aux viscéraux se présentent donc comme deux longues chaînes nerveuses écartées l'une de l'autre et portant chacune deux ganglions (viscéraux et palléaux) sur leur trajet. On donne à cette disposition le nom de *système nerveux orthoneure*. Elle ne s'observe que chez les Opisthobranches, chez lesquels les viscères n'ont pas éprouvé de torsion.

Chez les Gastéropodes prosobranches comme la Littorine, on retrouve tous les mêmes ganglions, mais avec une orientation différente de la grande commissure reliant les cérébroïdes aux viscéraux : la masse viscérale en se tordant de 180°, a entraîné avec elle la région moyenne de cette commissure en faisant passer le ganglion intestinal de droite du côté gauche par-dessus l'intestin (marche inverse à celle des aiguilles d'une montre); le ganglion intestinal de gauche est passé à droite sous l'intestin; la commissure s'est ainsi trouvée croisée en forme d'X; le ganglion de droite s'est trouvé ramené au-dessus de l'intestin (ganglion suprainestinal); celui de gauche est resté au-dessous (ganglion sub-intestinal).

La torsion n'intéressant que la masse viscérale, tous les ganglions situés dans la région de la tête n'ont pas changé de position; il en est de même des ganglions viscéraux, qui sont restés sous l'intestin.

Un tel entre-croisement de la commissure fait qualifier le système nerveux des Prosobranches de *système chiastoneure*.

2.5. Embranchement des arthropodes

2.5.1. Caractéristiques de l'Embranchement des arthropodes

✓ Symétrie bilatérale ; corps métamérisé

Tous les Arthropodes ont un exosquelette segmenté, des yeux composés et des appendices articulés et chaque segment est formé par des **pièces rigides (sclérites)** de 3 types : **tergite**, **pleurite**, **sternite** (Figure 46). L'exosquelette, qui est composé de cuticule inerte sécrétée par l'épiderme sousjacent, est un des facteurs expliquant le succès des Arthropodes

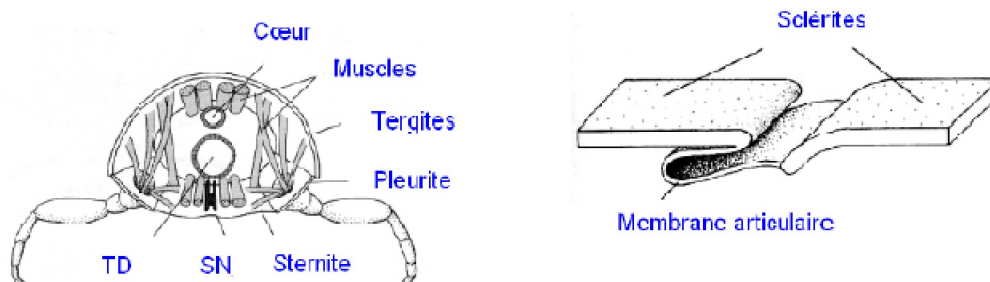


Figure 46 : Segmentation – articulation – membrane souple

✓ . Organisme cuticulés

Les arthropodes sont caractérisés par une cuticule. C'est une structure composée de protéines et de chitine (polymère). La chitine est incolore, molle et perméable. La sclérotinisation va la rendre rigide chez tous les Arthropodes, c'est la réaction entre les protéines qui font des liaisons covalentes par tannage et la minéralisation chez les Crustacés. L'épiderme produit aussi des cirres qui rendent la cuticule imperméable. La procuticule (exo- et endo-) est glycoprotéique : l'exocuticule est sclérotinisée et l'endocuticule est minéralisée, l'épicuticule n'a pas de chitine. La cuticule devient rigide et donc elle empêche la croissance de l'animal (Figure 47).

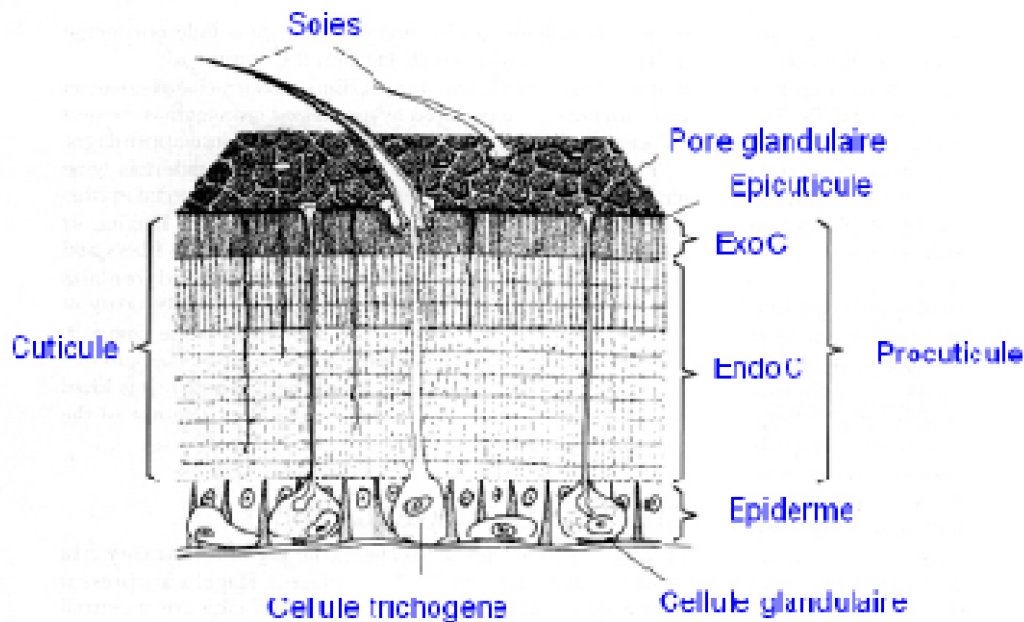


Figure 47 : Structure de la cuticule

La croissance de l'animal est donc discontinue, il se débarrasse successivement de son ancienne cuticule jusqu'au stade adulte par des mues et des inter-mues. On distingue 5 phases (Figure 48):

- la **post-mue** qui est la création d'un espace entre l'endocuticule et la nouvelle épicuticule par un liquide exuvial ;
- **inter-mues** avec création de l'exocuticule ;

- **pré-mue** avec développement de l'exocuticule et digestion de l'ancienne cuticule, phase durant laquelle l'animal s'immobilise et ne se nourrit plus ;

- **mue** avec déchirement de la mue par lignes de résistance, elle est contrôlée par une hormone stéroïde (ecdysone) qui agit sur l'épiderme et qui enclenche la production des cellules lytiques.

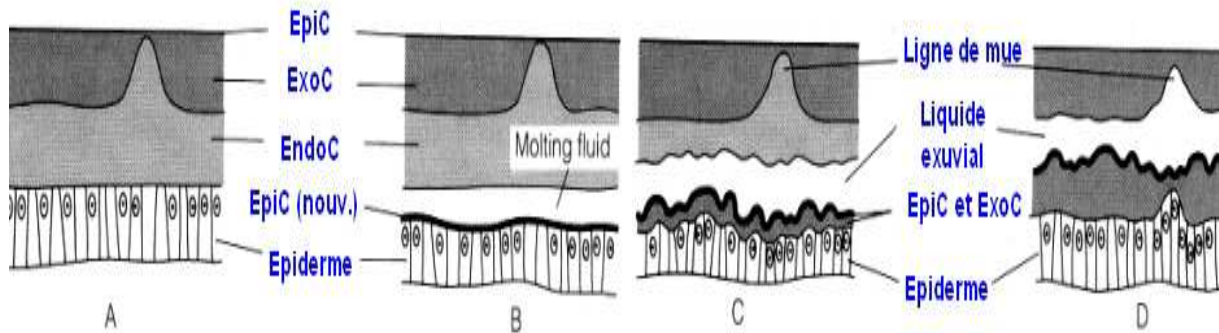


Figure 48 : Chronologie du phénomène de la mue

✓ La mobilité des plaques exosquelettiques

Les arthropodes sont caractérisés par un système musculaire complexe rattaché à l'exosquelette. Les muscles sont rattachés à excroissances de la cuticule vers l'intérieur appelées des apodèmes. C'est une invagination qui sert de point d'insertion des muscles et il devient un bras de levier (Figure 49). Les muscles striés sont utilisés pour les actions rapides et les muscles lisses sont spécifiques aux organes viscéraux.

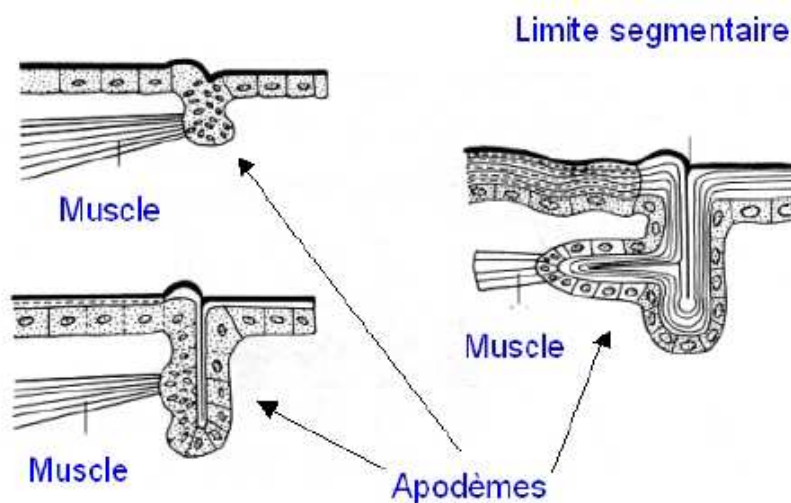


Figure 49 : Mobilité musculaire

✓ Cœlome réduit

Au départ il a une fonction de squelette hydrostatique. S'il ne remplit plus le système de distribution, il devient squelette hydrostatique. Mais lorsqu'il y a présence d'un exosquelette il ne l'est plus. Le cœlome est remplacé par le système sanguin. Il y a une profonde régression du cœlome mais ce qui est phylogénétiquement mis en place, reste. La structure disparaît mais la fonction persiste. Cœur dorsale, cerveau dorsal relié par un anneau autour de l'œsophage à une double chaîne de nerf des ganglions ventraux ; fusion des ganglions dans quelques espèces (Figure 50).

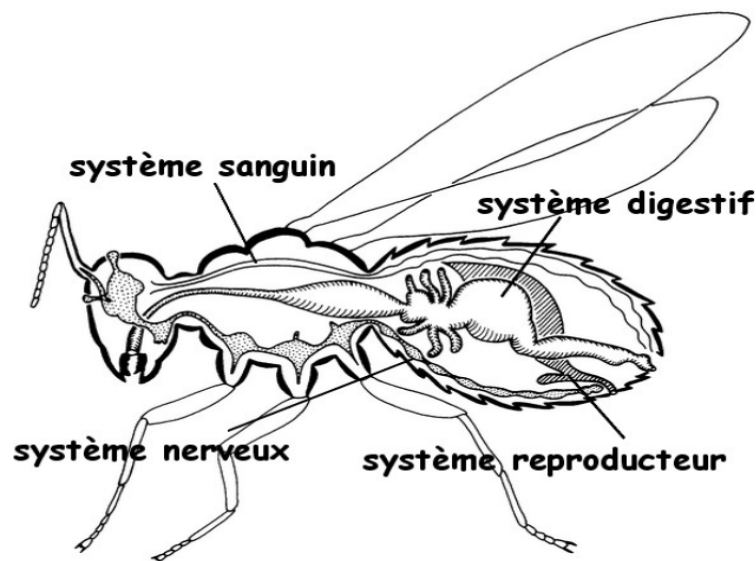


Figure 50 : Organisation générale des systèmes viscéraux

2.5.2. Présentation des Chélicériformes (Araignées)

De 70 000 à 80 000 espèces vivantes. Il y a 2 tagmes issus de 4 segments spécialisés et fusionnés. La tagmatisation est la différenciation et la fusion de plusieurs segments.

- **Céphalothorax** ou prosome constitué de l'acron et de 6 à 7 segments ;
- **Abdomen** ou opisthosome constitué du telson et de 12 segments maximum.

Environ 35 000 espèces. Elles possèdent des **chélicères associées à des glandes à venin** pour mordre la proie, c'est un système qui lui permet de paralyser et tuer sa proie.

Leur système de prise alimentaire est rudimentaire puisque les chélicères sont issues des modifications des appendices préhensibles en appendices mobilisateurs. Il y a une

digestion extracorporelle avec sécrétion d'une enzyme digestive dans la proie puis succion et récupération du lysa. Il y a une **association du système digestif et excréteur** avec les **tubes de Malpighi** qui se jettent dans le cloaque.

De vue dorsale, le **système circulatoire** expulse le sang avec un **vaisseau contractile** (cœur). Les **ostiums** sont des orifices d'entrée du liquide circulant (**hémolymphe**) dans le système circulatoire. Ce liquide met en mouvement le sang de toute la cavité générale puisqu'il n'y a **pas de système clos**.

Le **système reproducteur** est constitué des **gonades**, des **gonoductes** et du **gonopore** (pore génital).

Le **système respiratoire** est constitué de **poumons** qui sont des structures invaginées pour que la surface d'échange soit augmentée. Le **sinus pulmonaire** se prolonge par une voie de diffusion privilégiée par une voie tracée dans le cœur. Le système est rudimentaire mais parfaitement adapté à la vie de l'araignée.

A l'arrière, les **filières** permettent de filer des sécrétions provenant des glandes à soie : c'est un **appareil séricigène** qui a 3 devenirs : tisser les toiles, réaliser des coques d'habitation et former un cocon pour les œufs (Figure 51).

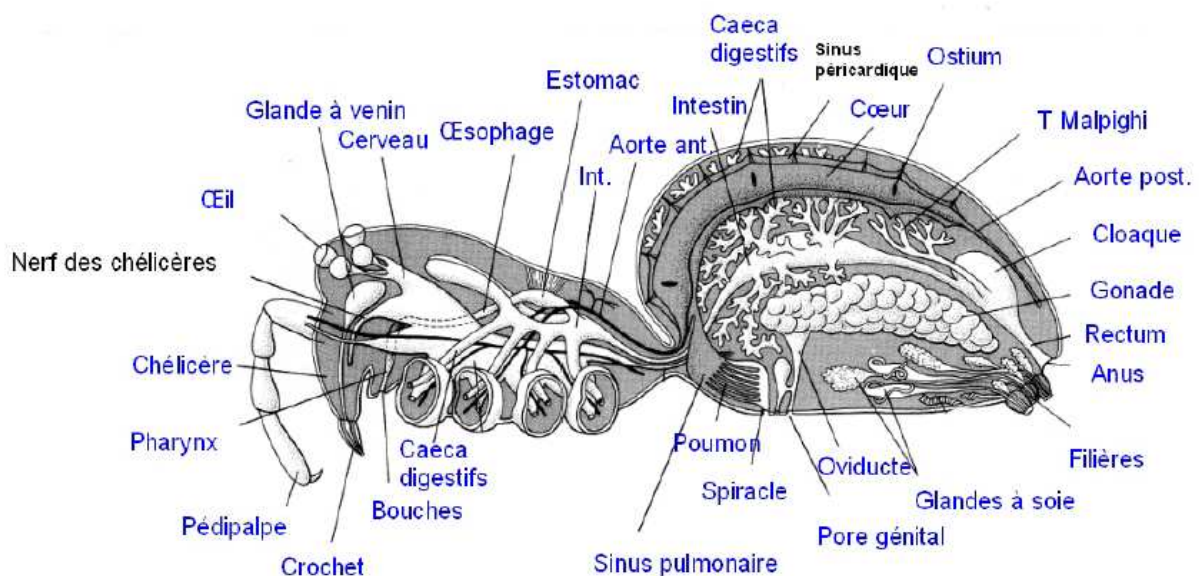


Figure 51 : Caractéristiques et anatomie des Araignées

2.5.3. Présentation des Chélicériformes (Scorpions)

Le système est différent de celui des Araignées car les chélicères n'ont pas de venin. Pour les petites proies ils utilisent les pédipalpes, sinon ils utilisent la **glande à venin associée au telson**. La **cuticule tapisse la cavité péri-orale** et ils ont une **alimentation de type liquide** comme pour les Araignées (Figure 52).

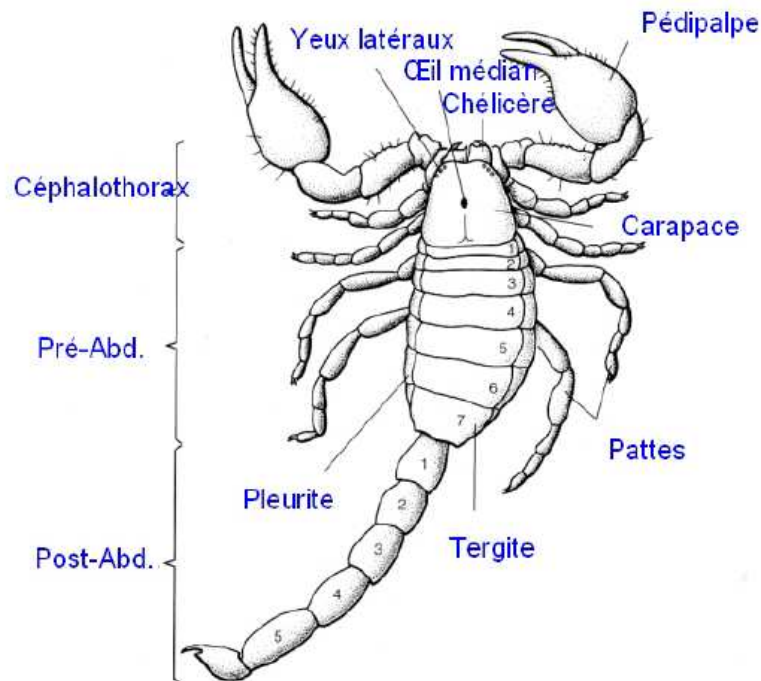


Figure 52 : Anatomie des scorpions

2.5.4. Présentation des Mandibulates (Crustacés)

Ils sont subdivisés en 2 parties : la **tête** et le **tronc**. Mais en fonction des patrons anatomiques on peut trouver un **thorax** et un **abdomen** qui se différencient par leur taille. Dans certains cas une partie du thorax fusionne avec la tête et on obtient le **céphalothorax** avec un **péréion** (reste du thorax) et un **pléon** (abdomen). Les appendices auront alors des noms particuliers : pléopodes, périopodes, maxillipèdes le dernier segment est le **telson** et ce n'est pas un métamère (Figure 53).

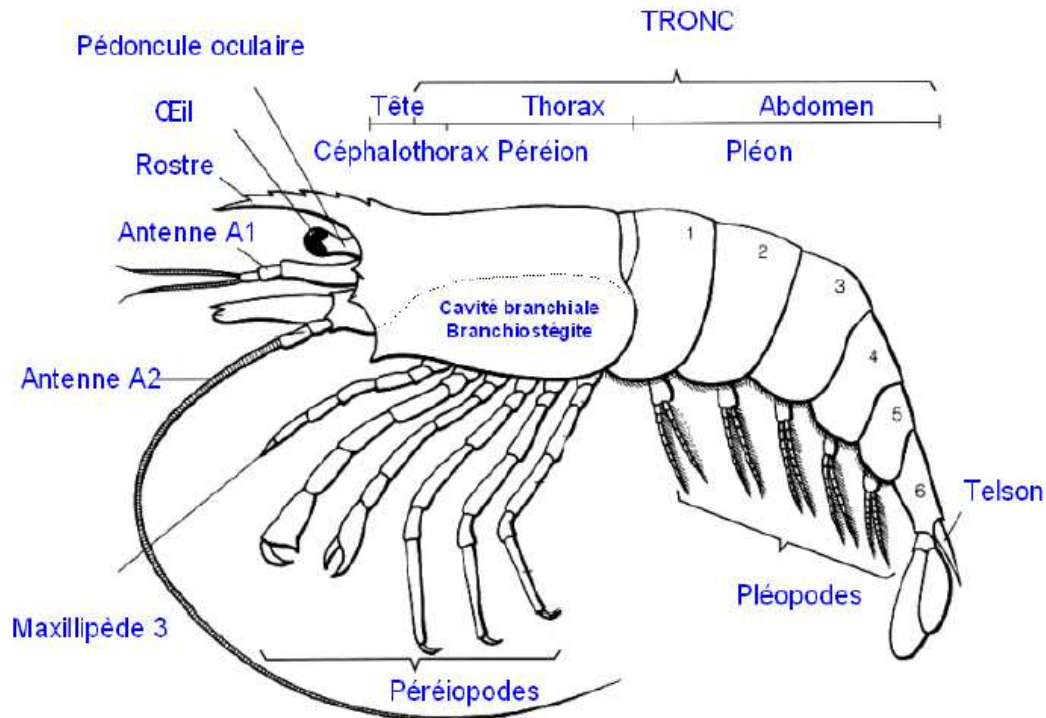


Figure 53 : Anatomie des crustacés

Ils possèdent une **bouche**, un **estomac**, un **caecum digestif**, un **intestin** et un **anus**.

Le système circulatoire est composé du **cœur** et des **ostiums** avec différentes **artères** et différentes **aortes** selon la position avec une séparation plus ou moins précise.

Le système est semi-ouvert puisqu'on trouve des vaisseaux dans tous les tissus et ils débouchent dans une cavité car leur paroi disparaît progressivement.

Le système respiratoire est composé de **branchies**. La base des pattes. La **cavité branchiale** est un repli qui se déploie au niveau où le tergite et le pleurite se séparent. Les branchies sont des évaginations protégées par le branchiostégite.

2.5.5. Présentation des Mandibulates (Insectes)

Ils possèdent une **paire d'antennes**, le **thorax** est individualisé avec **3 segments** portant chacun une paire de pattes. Il y a au maximum **11 segments abdominaux** qui ne portent pas d'appendices (Figure 54).

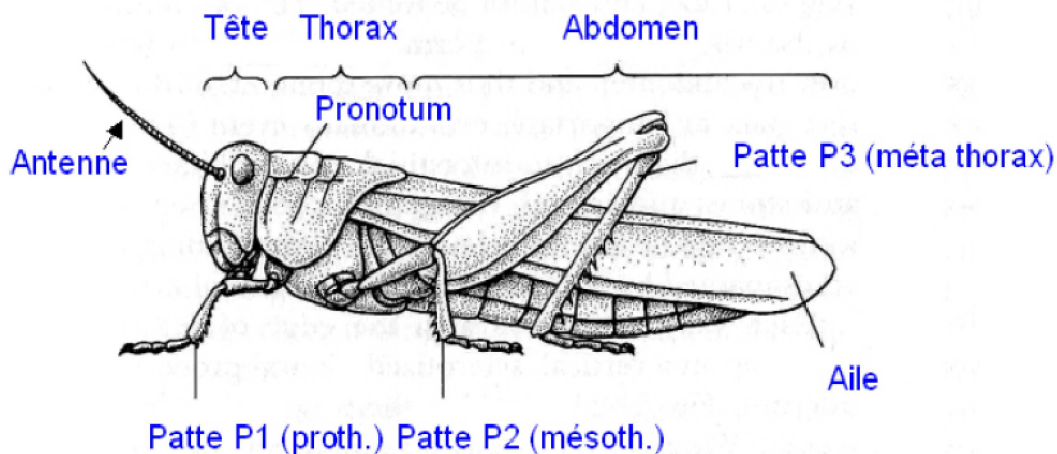


Figure 53 : Anatomie des insectes

Ils se développent par mues successives avec des modifications entre chaque mue soit dans la physiologie soit dans l'anatomie de l'animal, p.e. le passage du stade sexuellement immature (larve) au stade mature (imago) est une mue imaginale.

Il existe différents types de développement :

- **développement amétabole** sans métamorphose et sans modifications spectaculaires entre les stades ;
- **développement holométabole** avec une métamorphose complète entre la larve et l'adulte (Ex : Papillon) et le stade nymphale est très souvent immobile avec une métamorphose complète (Figure 54);
- **développement hétérométabole** avec des modifications morphologiques : il y a la mise en place d'ébauches d'ailes au stade de nymphe (mue nymphale) suivie d'une mue imaginale. Il y a un **développement paurométabole** lorsque les individus de tous les stades vivent dans un même milieu ou un **développement hémimétabole** lorsque tous les individus des différents stades du développement ne sont pas dans le même milieu et qu'il n'y a pas de compétition en ce qui concerne la nutrition (Ex : Libellules).

Les modes de reproduction sont très diversifiés mais les individus sont généralement **gonochoriques** avec une **fécondation interne** et un développement de type **ovipare** (oeuf).

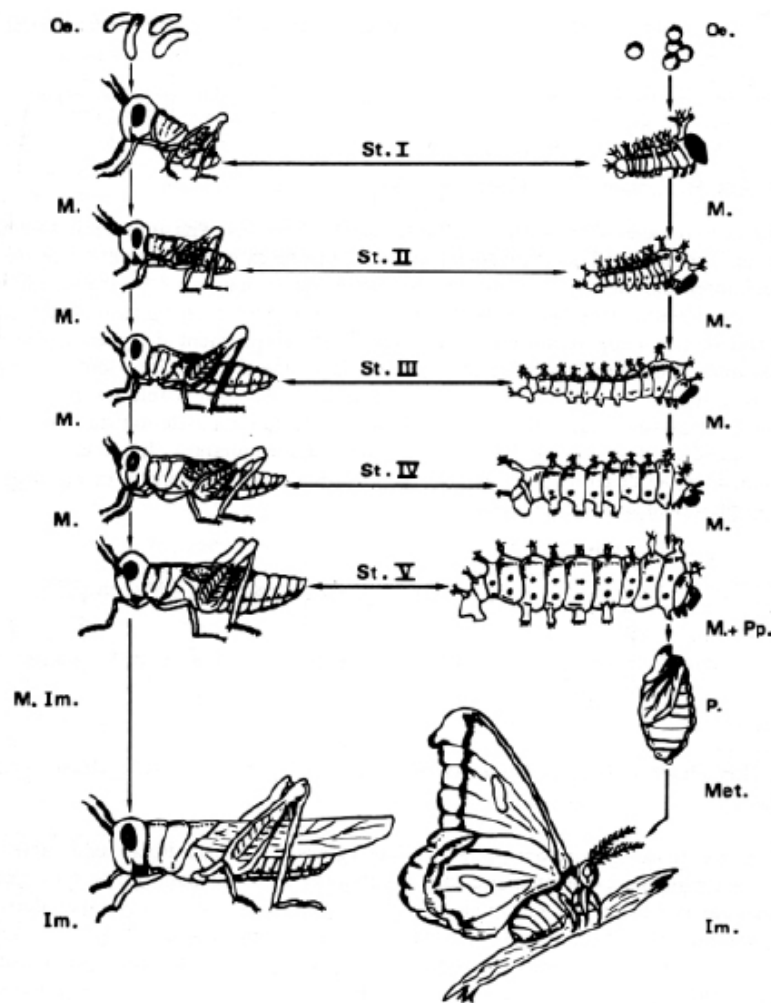


Figure 54 : Différents types de développement des insectes

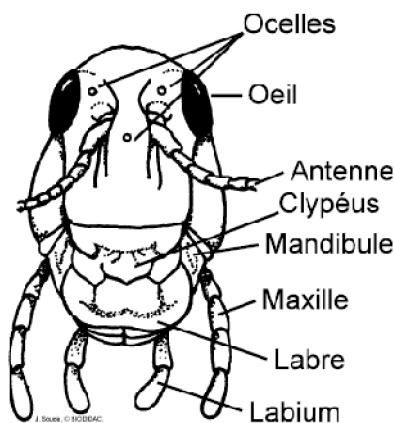
Tous les modes Nutrition existent :

Chez le criquet, le labre est suspendu au clypeus et forme la lèvre supérieure ou palais de la cavité buccale. Les mandibules sont sclérifiées et durcies et deux régions sont apparentes: une coupante ou incisive, l'autre broyante ou molaire. Les maxilles sont aussi paires et composées d'une lacinia dentelée, d'une galea et d'un palpe maxillaire sensoriel qui ressemble à une jambe utilisée comme organe du goût. Cette structure est aussi recouverte de poils sensoriels semblables à ceux qui sont observés sur les antennes. Le labium est formé de deux pièces fusionnées et forme le plancher de la cavité buccale. Là encore, les palpes labiaux sensoriels sont présents. L'hypopharynx n'est pas un appendice mais se trouve dans la cavité buccale et joue le rôle de la langue.

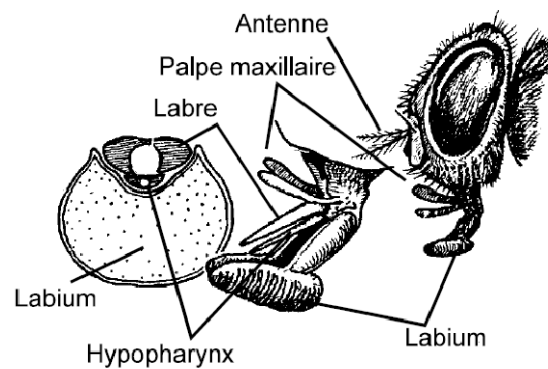
Les pièces buccales de la mouche domestique sont modifiées pour permettre d'éponger des liquides. Les centaines de sillons du lobe du labium agissent comme des capillaires aspirant le liquide dans le canal alimentaire central.

Les pièces buccales du moustique servent à percer et sucer le sang. Chez cet insecte, les cinq pièces buccales ancestrales sont présentes mais sont allongées au point de prendre l'apparence d'aiguilles. Elles permettent de percer la peau et un capillaire sous-jacent. Les pièces buccales s'imbriquent les unes dans les autres et permettent à l'insecte de boire comme si c'était une paille.

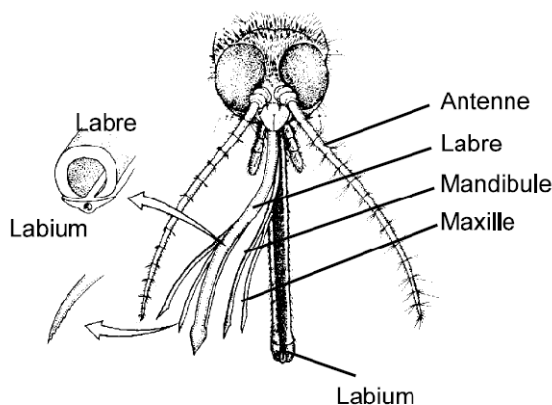
Les pièces buccales du papillon lui permettent de boire le nectar retrouvé à la base des fleurs. Comme ce long appareil buccal est encombrant, il est enroulé pour ne pas entraver le vol. Lorsqu'ils se nourrissent, le proboscis est déroulé en pompant de l'hémolymphe à l'intérieur.



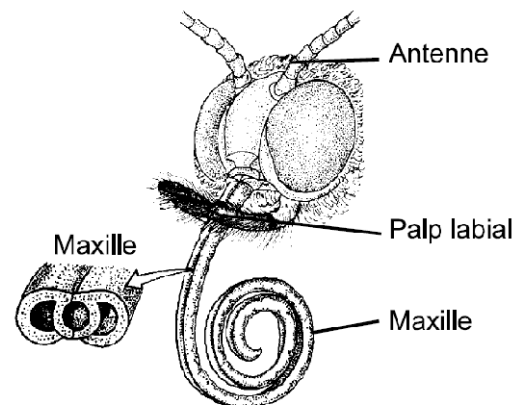
Criquet



Mouche domestique



Moustique



Papillon

2.6. Embranchement des Échinodermes

2.6.1. Caractéristiques de l'Embranchement des Échinodermes

Les Échinodermes forment un groupe d'animaux anciens et fascinants. Bien que l'étoile de mer et l'oursin soient les échinodermes les plus connus, il ne s'agit que de deux espèces, parmi une multitude d'organismes. Les Échinodermes sont des animaux exclusivement marins. Ils sont apparus il y a environ 500 millions d'années et ils ont dominé la faune animale il y a 350 millions d'années. Il ne reste qu'environ 6000 espèces et celles-ci se retrouvent dans 6 des 23 classes contenues dans ce phylum. Les espèces appartenant aux 17 autres classes sont maintenant disparues et ne sont donc connues que par des fossiles (Figure 55).

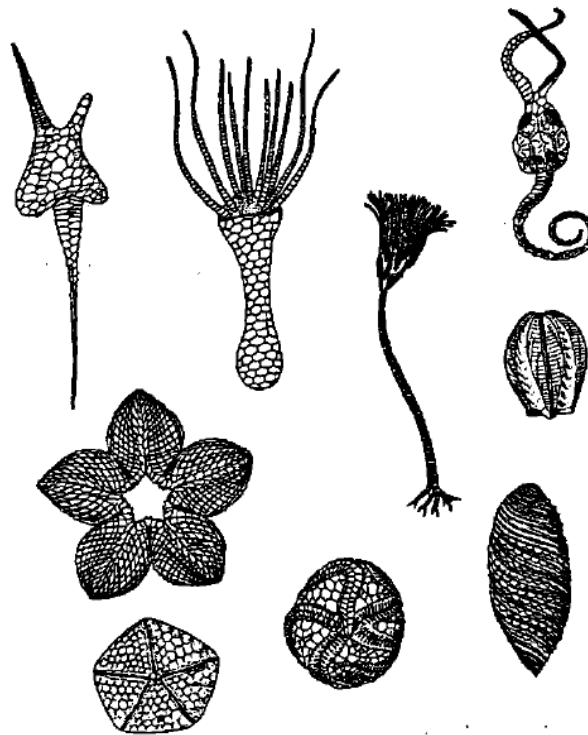


Figure 55 : Quelques espèces fossiles d'Echinodermes

✓ Ces animaux à la peau épineuse (d'où leur nom) possèdent un squelette interne. Ils sont le seul embranchement des invertébrés qui possèdent un squelette interne calcaire.

✓ Ils ont un système aquifère unique et une symétrie pentaradiaire (du grec penta pour 5). Le système aquifère et la cavité périsvécérale sont dérivés du coelome embryonnaire.

✓ Contrairement aux autres phylums radiaires d'animaux, qui incluent les Cnidaires et les Cténophores, les Échinodermes sont triploblastiques et ont une véritable cavité coelomique.

✓ Le développement des Échinodermes débute sous forme de larves ayant une symétrie bilatérale et nageant librement. Ce n'est que plus tard au cours du développement de l'animal que les larves se métamorphosent en animaux présentant la symétrie radiale caractéristique et bien connue (Figure 56).

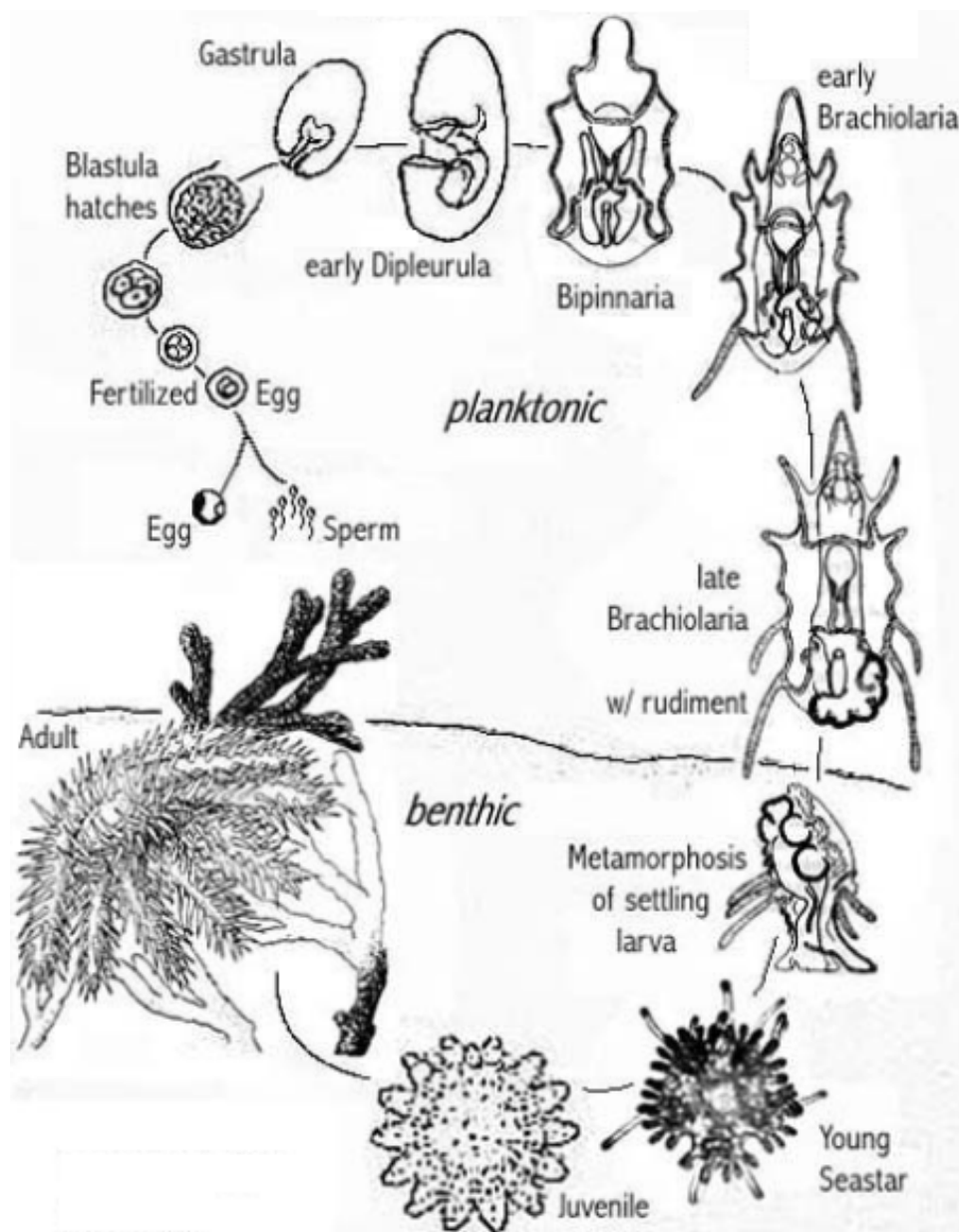


Figure 56 : Diagramme représentant le cycle de vie d'*A. planci*

✓ Les premiers Échinodermes étaient pédiculés avec leur orifice buccal orienté vers le haut et leurs bras ouverts comme des éventails sophistiqués. À cette époque, les océans étaient riches en petits organismes qui, lorsque morts, se déposaient au fond. Ces organismes étaient alors piégés par les pieds ambulacraires des Échinodermes ancestraux et passaient par le sillon ambulacraire vers l'orifice buccal. Au cours de l'évolution l'orientation de ces animaux s'est inversée. Le pied s'est trouvé impliqué dans la locomotion plutôt que dans le piégeage des aliments, tandis que l'orifice buccal s'est retrouvé orienté vers le bas dans le substrat. Bien que la forme du corps fût déjà établie, il existait encore une certaine plasticité dans l'apparence. Plusieurs espèces d'Échinodermes, ont développé une symétrie bilatérale chez l'adulte mais la capacité locomotrice demeure minimale puisqu'elle est liée au système ambulacraire.

2.6.2. Morphologie externe de l'étoile de mer (=Asterias)

L'étoile de mer, *Asterias*, est l'Échinoderme le plus utilisé pour montrer les caractéristiques du phylum. Ces caractéristiques incluent: un plan corporel pentaradiaire, un endosquelette fait d'ossicules qui forment également les projections épineuses qui servent à protéger l'animal. La locomotion s'effectue par l'action de pieds ambulacraires qui sont une partie intégrante du système ambulacraire (aquifère).

Le corps est divisé en deux régions, un disque central et des bras disposés en rayons autour de ce disque (Figure 57).

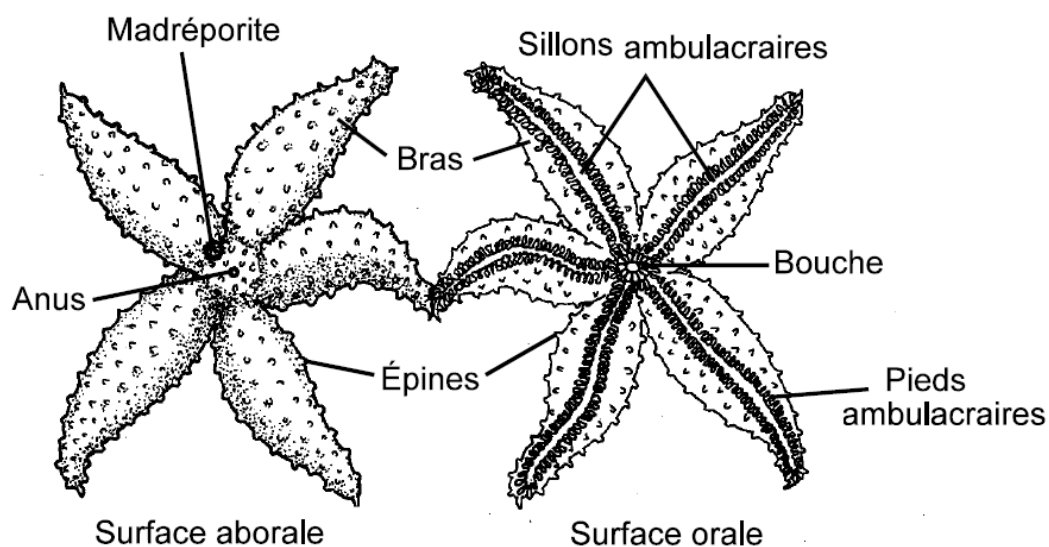


Figure 57 : Morphologie externe d'une étoile de mer

Sur la face orale, deux traits caractéristiques: la bouche centrale et les cinq sillons ambulacraires localisés au centre de chaque bras et s'étendant de l'extrémité de chaque bras vers la bouche. Chaque sillon ambulacraire contient 4 rangées de pieds ambulacraires (ou podions) qui sont les projections externes du système ambulacraire. Ces projections passent entre les ossicules de l'endosquelette. Ils sont parfois difficiles à observer tout au long du sillon ambulacraire, car ils sont souvent protégés par des épines. Le podion agit comme une petite ventouse qui s'attache au substrat. Le pied peut s'étendre ou se rétracter par contraction de muscles internes. Individuellement, chaque podion semble être l'instrument d'un mécanisme locomoteur plutôt inefficace, mais si vous considérez qu'un individu est pourvu de plus de 1000 podions, le potentiel locomoteur devient évident. Puisque l'action des ventouses est essentielle, ces animaux sont souvent restreints à vivre sur des substrats durs. De chaque côté des sillons ambulacraires, on trouve des rangées d'épines émoussées qui sont des ossicules dermiques spécialisés qui percent individuellement la peau.

Sur la face aborale les épines coniques sont beaucoup plus nombreuses. Entourant chacune des grandes épines, on observe un cercle de petits points blancs, les pédicellaires (épines modifiées) (Figure 58). Ces derniers sont particulièrement grands et nombreux parmi les grandes épines situées sur les côtés des sillons ambulacraires. Ils sont formés de trois composantes: un pédoncule basal et deux éléments distaux qui bougent l'un par rapport à l'autre comme les lames d'un ciseau. Les pédicellaires et les épines empêchent que d'autres organismes viennent s'établir sur ces animaux lents.

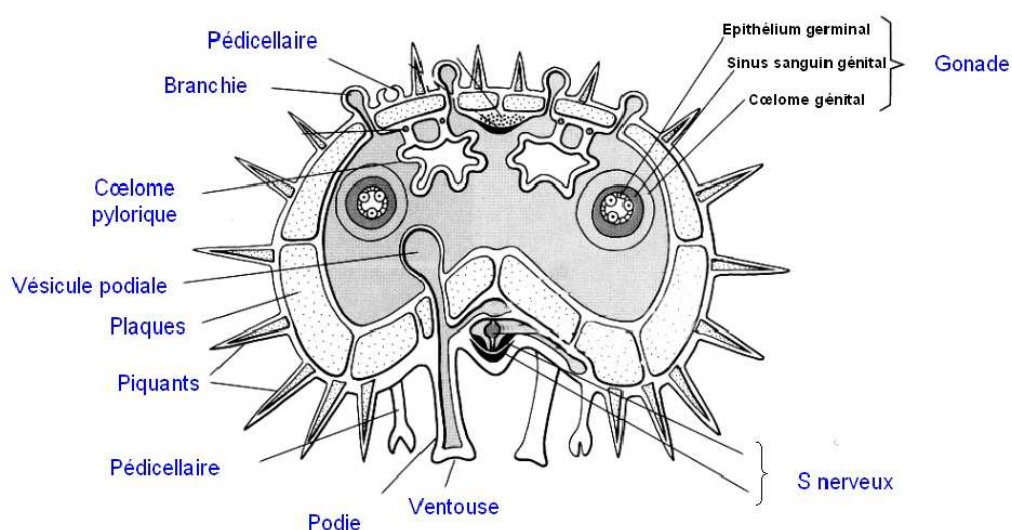


Figure 58 : Coupe transversale du bras d'une étoile de mer

Chez les spécimens vivants ou bien conservés, un grand nombre d'évaginations fines et en forme de doigts sont facilement visibles. Ils s'agissent de branchies dermiques qui donnent à la peau une apparence veloutée. Ces branchies sont tapissées à l'extérieur, par de l'épiderme cilié et, à l'intérieur, par la bordure ciliée de la cavité périviscérale. Ces cils externes et internes sont importants dans la diffusion, un processus essentiel à la survie des étoiles de mer.

Chaque bras est attaché au disque central. L'orifice du système ambulacraire, le madréporite, ressemble à une passoire et est localisé sur un côté du disque et entre deux des bras (une région appelée l'interambulacre). Les deux bras de chaque côté du madréporite forment le bivium et les 3 autres bras forment le trivium. On trouve aussi sur un côté du disque central, un anus peu évident, il est situé à l'interambulacre qui suit (dans le sens des aiguilles d'une montre) le madréporite.

2.6.3. Anatomie interne de l'étoile de mer (=Asterias)

✓ Le système ambulacraire (aquifère)

Le système ambulacraire (Figure 59) consiste en un anneau aquifère, un canal hydrophore qui relie le madréporite à l'anneau aquifère et en cinq canaux radiaux. L'anneau aquifère possède 9 corps de Tiedemann. À l'endroit où l'on s'attendrait à trouver le dixième, on trouve l'embranchement entre le canal hydrophore et l'anneau aquifère.

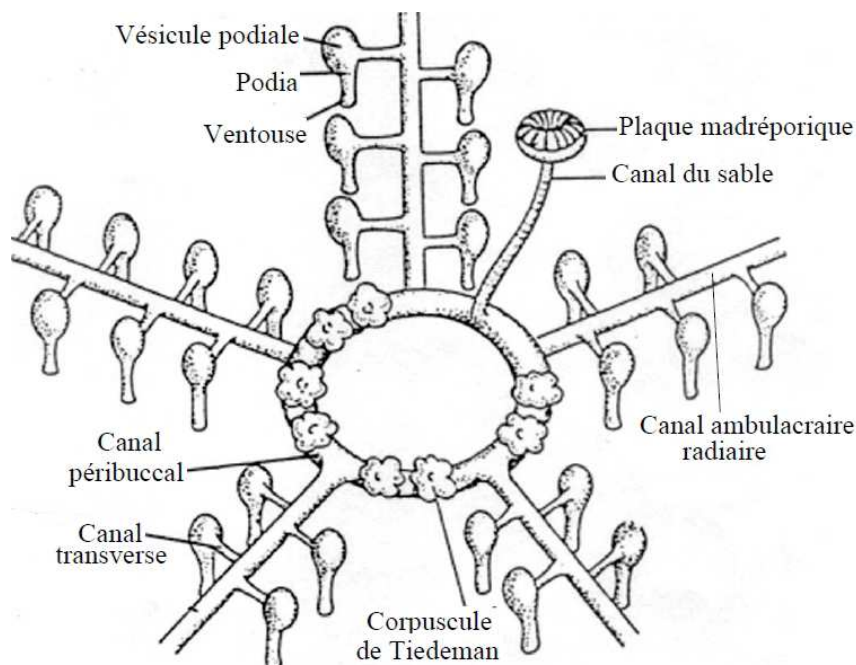


Figure 59 : Principales structures du système aquifère

Les vésicules de Polian sont habituellement situées sur le canal annulaire, mais elles sont absentes chez les espèces du genre *Asterias*. Les canaux radiaires, qui sont cachés par les osselets ambulacraux suivent le centre de chaque bras et sont reliés aux pieds ambulacraires. Les ampoules (ampullae) des pieds ambulacraires, en forme de bulbes, se projettent dans la cavité périviscérale et devraient pouvoir être observées dans chaque bras lorsqu'elles passent au-dessus de la crête ambulacraire.

✓ Le système digestif

La bouche conduit à un oesophage extrêmement court qui aboutit dans un grand estomac. L'estomac est divisé en portions cardiaque et pylorique. La portion cardiaque est la plus grande et est réversible par la bouche. Beaucoup d'étoiles de mer se nourrissent de Mollusques bivalves en sortant leur estomac par la bouche et en l'insérant entre les deux valves de la coquille du mollusque. Des enzymes digestives sont relâchées dans le mollusque et une digestion extracorporelle se produit. D'autres aliments, tels que de petits poissons et crustacés peuvent être engloutis en entier.

Vers la face aborale l'estomac pylorique qui présente une forme pentagonale et aplati (Figure 60). Il est beaucoup plus petit que l'estomac cardiaque. À chaque angle du pentagone, il y a un gros conduit qui mène à une paire de diverticules (caecums) pyloriques ou gastriques situés dans chaque bras. Ces structures occupent pratiquement tout l'espace de la cavité périviscérale et sont faites de branches qui se ramifient de plus en plus jusqu'à ce qu'elles aboutissent dans un groupe de lobules. L'intérieur du système digestif est tapissé de cils qui provoquent le mixage constant de son contenu. Les parois des caecums sécrètent des enzymes digestives et agissent aussi comme des organes de stockage. Le court rectum passe du milieu de la face aborale de l'estomac pylorique vers le haut pour se terminer dans un anus. Ces deux dernières structures peuvent ne pas être apparentes immédiatement puisque les résidus non digérés sont souvent régurgités plutôt qu'expulsés par l'anus.

✓ Le système reproducteur

Les gonades sont des structures paires disposées à la base des bras. Leur taille varie selon le stade reproducteur de l'animal. Les gamètes sont libérés par des gonopores situés sur les côtés du disque central (Figure 60).

✓ Le système nerveux

Le système n'est pas très complexe et son organisation est simple. Elle consiste en un réseau nerveux diffus. Un anneau nerveux et des nerfs radiaux associés avec chaque bras sont impliqués dans la coordination de l'alimentation et le mouvement des pieds

ambulacraires. À l'extrémité de chaque bras un des pieds ambulacraires est modifié et à une fonction photoréceptrice (Figure 60).

✓ Les systèmes excréteur et respiratoire

Les systèmes excréteur et respiratoire sont absents chez ces animaux. Les branchies dermiques procurent une importante surface d'échange entre l'environnement extérieur et le contenu des cavités périsvscérale et ambulacraire. Les deux cavités sont aussi tapissées de cils et le mixage constant de leur contenu assure un gradient de diffusion suffisamment important pour assurer la diffusion des déchets et de l'oxygène (Figure 60).

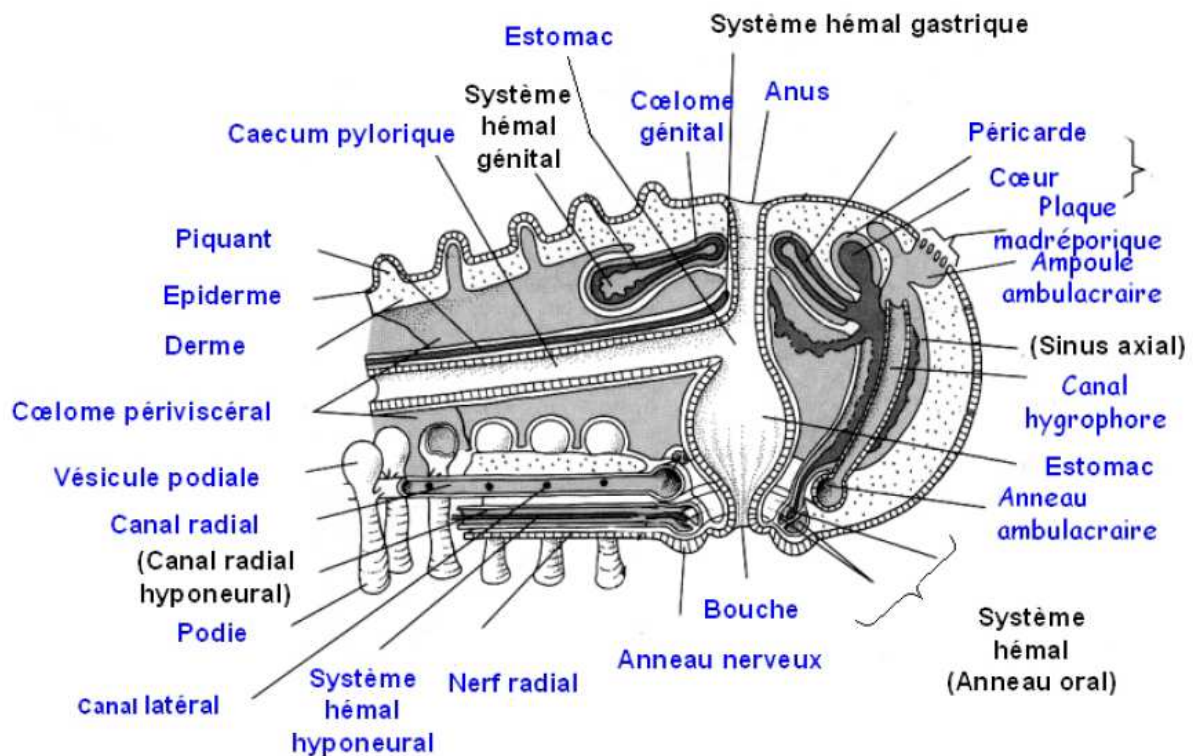


Figure 60 : Disposition générale des systèmes anatomiques

2.7. Embranchement des Vertébrés

2.7.1. Super-classe des poissons

Les poissons représentent le groupe le plus nombreux de l'embranchement des vertébrés dont ils représentent environ la moitié des espèces. 20 000 espèces de poissons dont 60% vivant dans les mers. L'eau et l'air sont deux niches écologiques très différentes qui a travers la densité, la conductance, les variations ioniques, la disponibilité d'O₂, les nutriments et la lumière conditionnent la grande hétérogénéité de la super-classe des poissons.

2.7.1.1. Evolution et classification

Les poissons sont apparus au Dévonien (-400 millions d'années). Ils représentent à ce jour 3 des 7 classes de vertébrés (Figure 61).

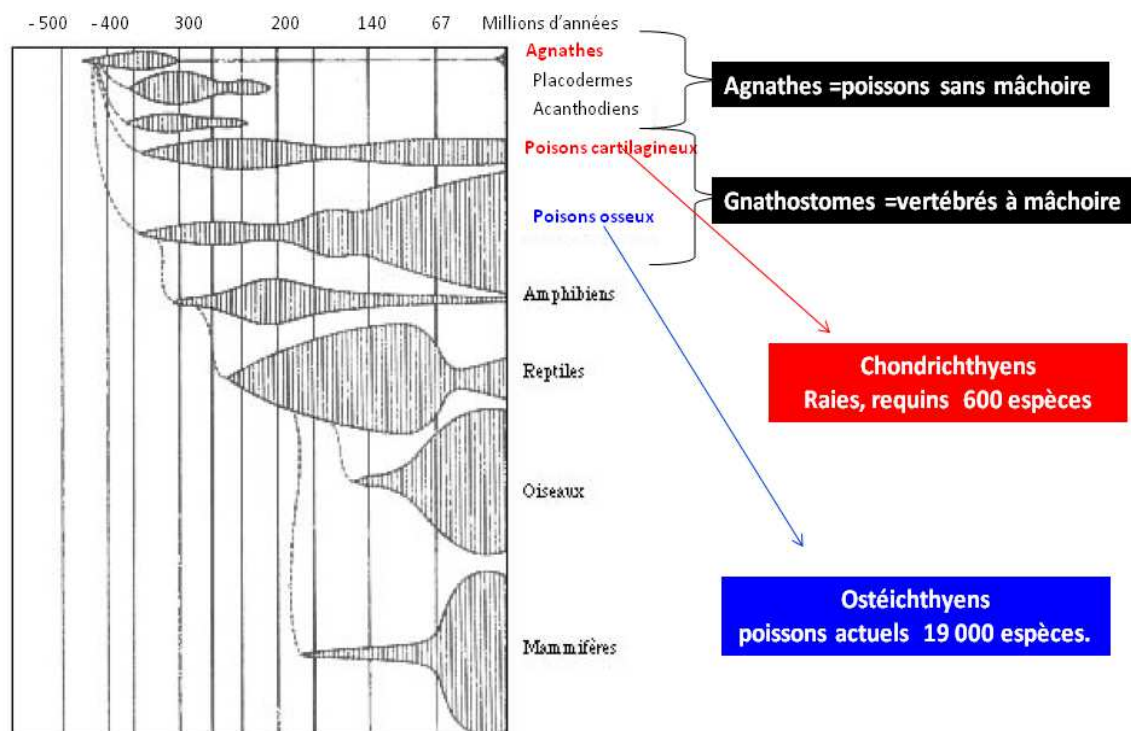


Figure 61 : Evolution et classification des poissons

✓ **Cyclostomes (ou agnathes)** : lamproie, myxines.

Les poissons se sont ensuite dotés de mâchoires, constituant la Super-classe des gnathostomes. Cette Super-classe se divise en deux classes :

- ✓ **Chondrichthyens** : poissons cartilagineux. Ex : raies, requins. 500-600 espèces.
- ✓ **Ostéichthyens** : poissons osseux, majorité des poissons que nous connaissons. 19000 espèces.

2.7.1.2. Anatomie et physiologie

✓ La morphologie :

Les poissons possèdent une symétrie bilatérale (à de rares exceptions comme la limande, la plie). Le corps est divisé en 3 parties : La tête avec un système nerveux plus ou moins développé, le tronc et la queue (Figure 62).

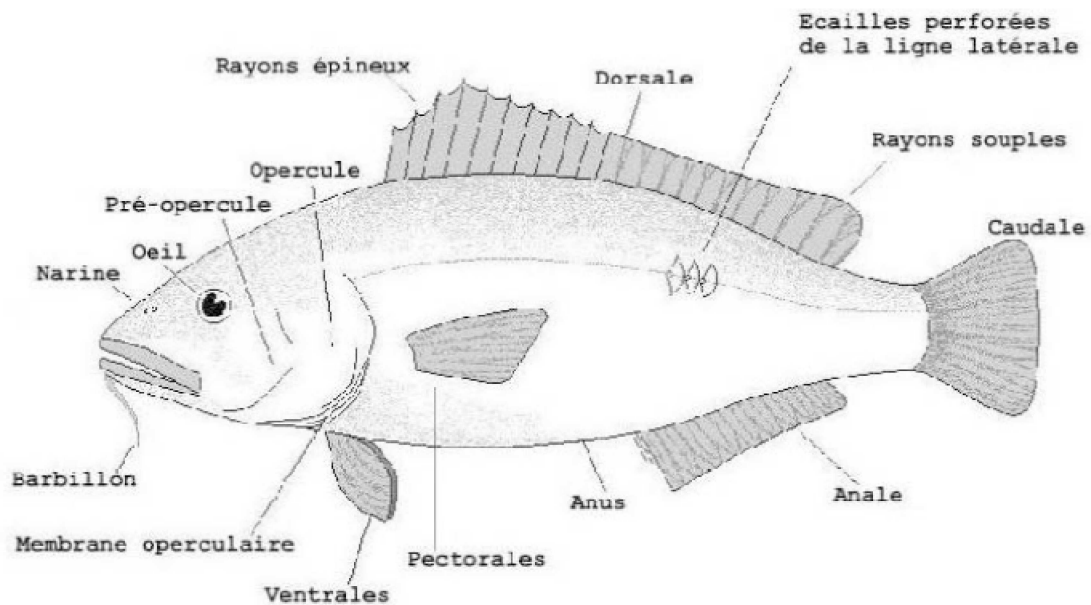


Figure 62 : Aspect générale d'un poisson osseux

✓ Nageoires et locomotion

Les nageoires, membres de la navigation, ont chacune un rôle bien précis.

- **La ou les nageoires dorsales** (Rôle: Neutralise le roulis et les embardées).
- **Les Pectorales** (Rôle: Stabilisation latérale, changement de direction, freinage).
- **Les Ventrales ou Pelviennes** (Rôle: Stabilisent la nage et contribuent au changement de direction)
- **L'anale** (Rôle: Neutralise le roulis et les embardées, comme la dérive d'un bateau).
- **La Caudale** (Rôle: Propulsion et freinage).

✓ **La vessie natatoire :**

C'est un sac rempli de gaz qui sert essentiellement d'organe hydrostatique. Le poisson équilibre son poids en fonction de la profondeur. Remontés trop rapidement, ces poissons subissent un accident de décompression. Leur vessie se gonfle, parfois jusqu'à éclater, sous la brusque dilatation des gaz et provoque la rétroversion de leur estomac. Mais tous les poissons ne possèdent pas de vessie natatoire. Toujours plus lourds que l'eau, ces poissons vivent sur le fond comme les raies, les poissons plats, les blennies, ou sont obligés de nager en permanence pour se maintenir à la profondeur voulue comme les maquereaux et les requins. Darwin pensait que la vessie natatoire avait donné naissance aux poumons. Actuellement, on pense que c'est l'inverse qui s'est produit. Les poissons d'eau douce du Dévonien respiraient à l'aide de poumons qui se sont transformés en vessies natatoires lorsque les Téléostéens sont retournés à la mer. Certains Téléostéens vivant en eaux mal oxygénées utilisent de nouveau leur vessie natatoire comme poumon.

✓ **La peau et les écailles:**

La peau des poissons se compose de 2 couches principales : l'épiderme superficiel et le derme profond. Elle peut présenter des aspects très différents : Coloration variable, Lisse et souple comme chez la murène, couverte de denticules chez les poissons cartilagineux ou encore couverte d'écailles

Les sécrétions de nombreuses glandes à mucus donnent au corps son aspect visqueux caractéristique, permettant entre autres de réduire la friction du milieu aquatique.

La croissance des animaux marins est influencée par les variations saisonnières de température. Le constituant principal des écailles est la kératine. L'alternance du développement entraîne la succession, sur les écailles, de zones claires (croissance rapide et faible concentration en kératine) et de zones sombres (croissance ralentie, concentration de la kératine) (Figure 63). L'analyse des écailles, même si elle peut être faussée par de nombreux facteurs, peut participer à l'estimation de l'âge d'un poisson.

✓ **Le squelette:**

Les poissons possèdent un **squelette interne**. Le crâne est une partie importante du squelette, souvent formé par de nombreux os, reliés par des parties cartilagineuses. Il peut être articulé, notamment au niveau des opercules branchiaux (Figure 64).

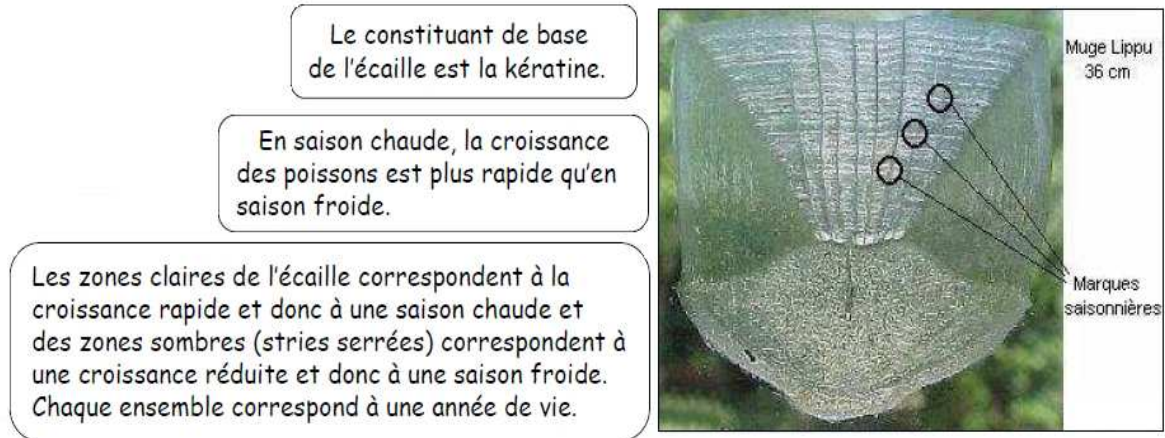


Figure 63 : Présentation des stries des écailles

Une colonne vertébrale est présente tout le long du corps et abrite une partie du système nerveux. Se prolongeant jusqu'au bout du lobe supérieur de la nageoire caudale des poissons cartilagineux, elle explique sa disymétrie.

Sur cette colonne vertébrale s'articulent : Des ceintures osseuses, supports des nageoires, des prolongements épineux rigidifiants les nageoires impaires et des paires de côtes protégeant les viscères

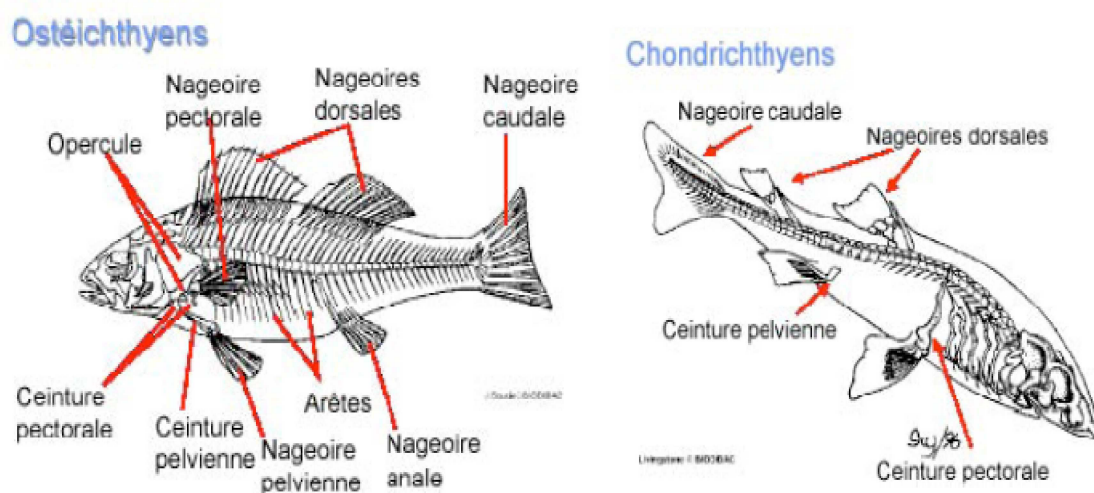


Figure 64 : Caractéristiques générales du squelette chez les poissons

✓ **La musculature :**

Il n'y a pas de système tendineux reliant les muscles au squelette. Le poisson a des cellules musculaires disposées parallèlement et reliées à des gaines de tissu conjonctif qui sont accrochées au squelette et à la peau. Chez les poissons pélagiques qui nagent pratiquement en permanence, la proportion de muscles rouges (pour l'endurance) est très importante. Les poissons vivant sur le fonds ne possèdent quasiment que des muscles blancs (pour les mouvements importants mais brefs) (Figure 65).

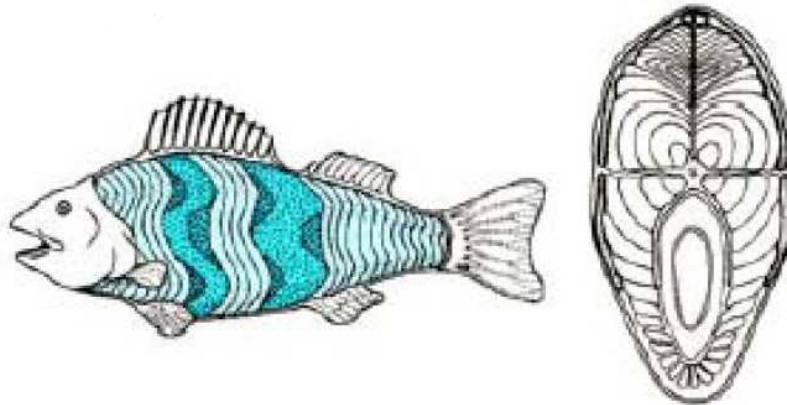


Figure 65 : Disposition de la musculature

✓ **Le système digestif :**

Il comprend bouche, œsophage, estomac, intestin et rectum. Le système digestif comporte également un pancréas et un foie. Le foie est particulièrement important chez les cartilagineux car c'est la masse d'huile stockée dans cet organe qui assure la flottabilité de l'animal (Figure 66).

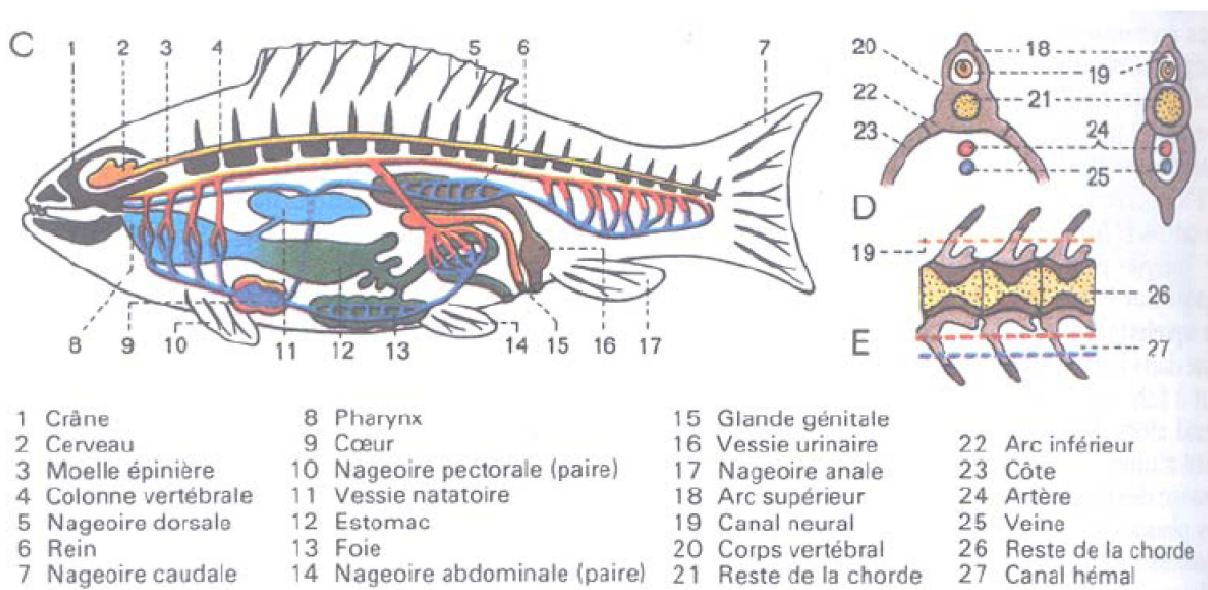


Figure 66 : Anatomie interne d'un poisson

✓ **L'appareil circulatoire :**

Le cœur des poissons est plus simple que celui de l'homme. Il est constitué d'une suite linéaire d'éléments formant une pompe à sens unique (Figure 67).

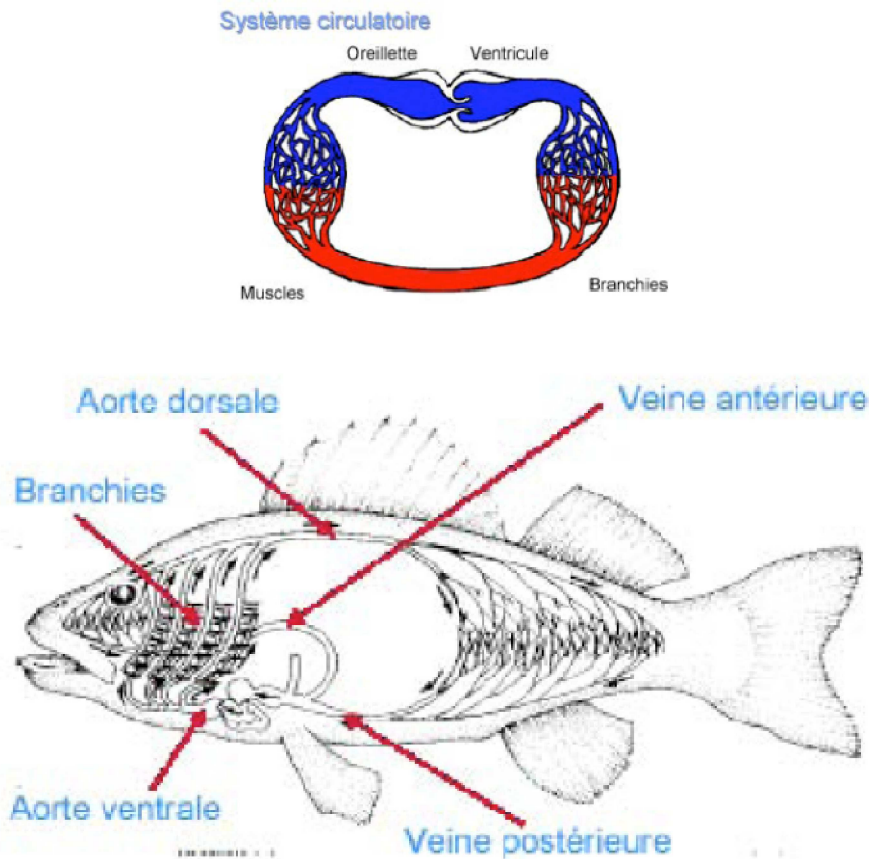


Figure 67 : Organisation du système circulatoire

✓ **Le système nerveux :**

Il comprend l'encéphale, la moëlle épinière et les nerfs. Les nerfs sensitifs reçoivent des informations des organes des sens : narines, yeux, oreilles, récepteurs cutanés.

Certaines différences subsistent par rapport à l'homme :

- Le système de mise au point de la netteté de l'image se fait dans l'œil par le déplacement du cristallin.
- L'oreille moyenne est absente
- Présence d'une **ligne latérale** de récepteurs cutanés

La ligne latérale permet la perception de variations de la pression (changement de profondeur, obstacles, sons), et parfois de variations de potentiels électriques. Cette faculté permet de maintenir la cohésion des bancs de poissons (Figure 68).

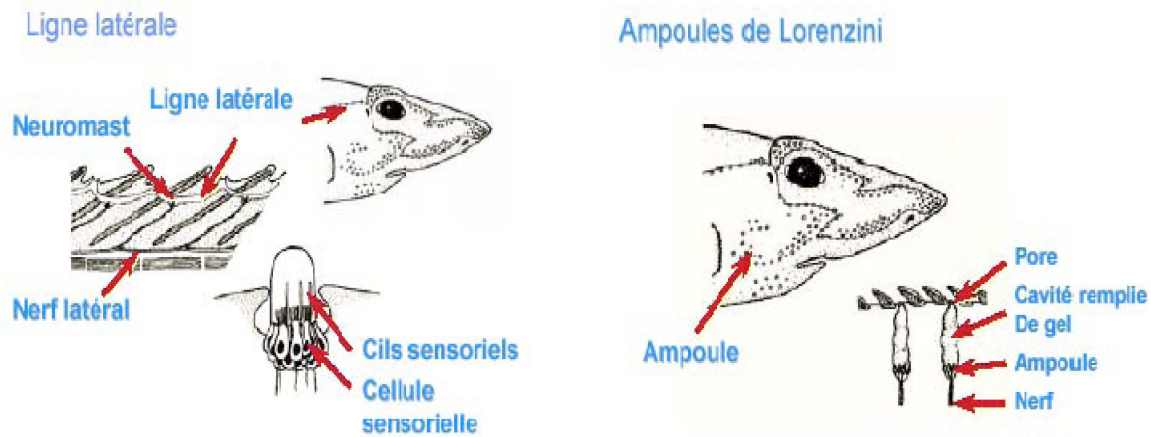


Figure 68 : Présentation des organes de perception

✓ Branchies et Respiration :

Les branchies sont l'organe caractéristique des poissons. Elles impriment un effet marqué sur l'anatomie et le fonctionnement de tout le reste de l'organisme. Situées à l'interface environnement / milieu intérieur, les branchies sont **l'organe d'échange par excellence** et remplissent des fonctions essentielles : Respiration, Osmorégulation, Equilibre acido-basique, Excrétion d'ammoniaque, Absorption des certaines molécules, excrétion de substances toxiques et des Fonctions sensorielles

La principale fonction de la branchie est la **fonction respiratoire** et donc l'échange l'oxygène et le gaz carbonique avec le milieu aquatique. La couleur des lamelles branchiales témoigne d'un flux sanguin très important et leur forme permet une surface d'échange maximale.

Les poissons possèdent le plus souvent 5 paires de branchies (Figure 69), qui communiquent avec le pharynx. Ces branchies sont dites internes car elles sont recouvertes par un opercule. Les mouvements synchronisés des opercules et de la bouche permettent la circulation de l'eau à travers les lamelles branchiales et donc l'apport d'oxygène.

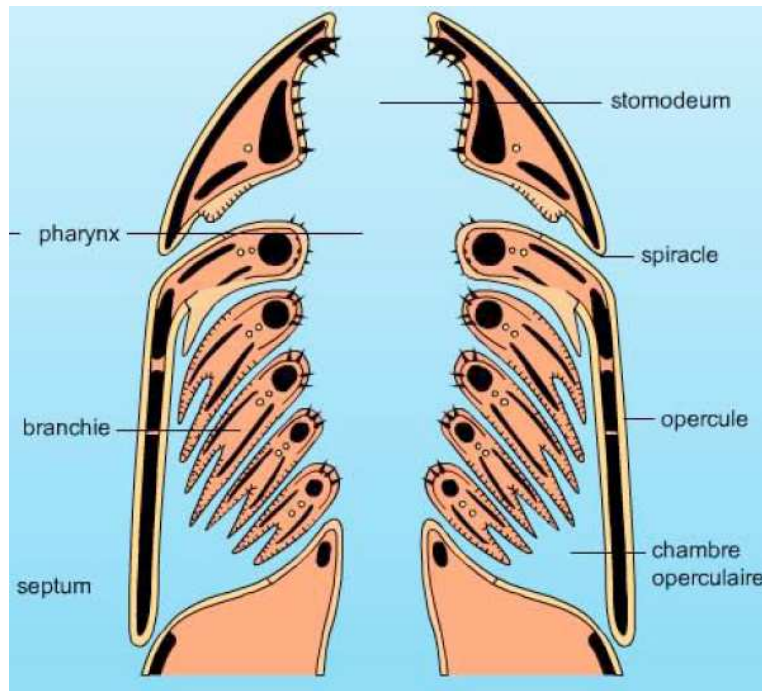


Figure 69 : Disposition des branchies chez les poissons osseux

Les échanges respiratoires sont dits à contre-courant, c'est à dire que l'eau et le sang circulent en sens inverse (Figure 70). Cela permet une meilleure absorption de l'oxygène par rapport à nos poumons.

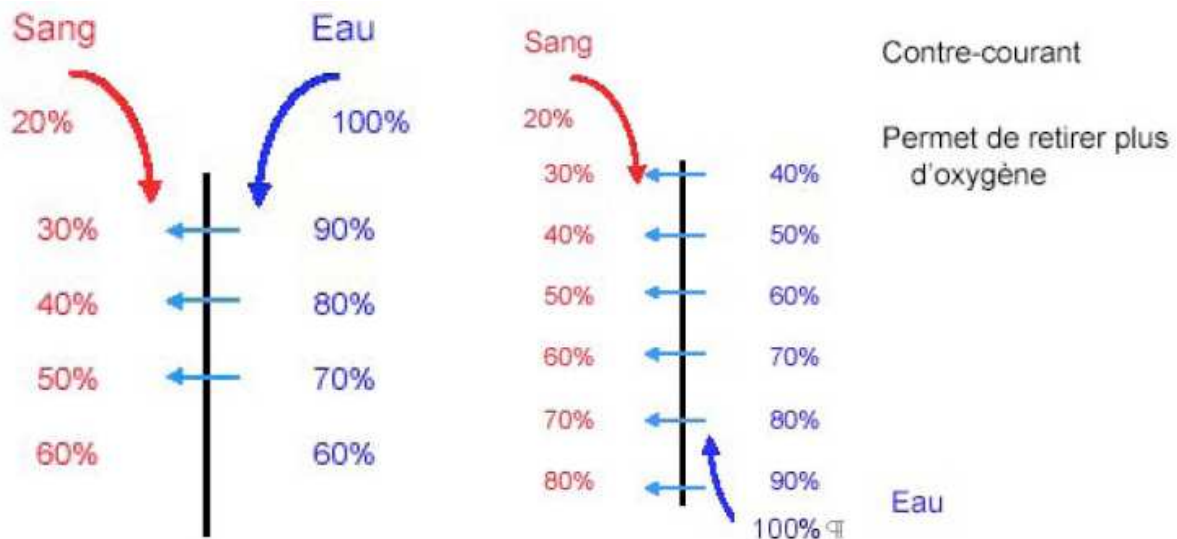


Figure 70 : Sens de circulation du sang et de l'eau

La faible teneur en oxygène de l'eau oblige les poissons à **pomper de grandes quantités d'eau** tout en maintenant un métabolisme peu actif. Ce grand volume d'eau à filtrer implique une grande dépense d'énergie car l'eau est 800 fois plus dense que l'air. La

grande surface nécessaire à ces échanges sang / eau entraîne une situation critique pour le maintien de l'homéostasie.

✓ **Osmorégulation :**

L'environnement ionique du milieu marin est très différent de l'air. Il varie également énormément selon le milieu : eau de mer / saumâtre / douce. Aussi étrange que cela puisse paraître, un poisson osseux en milieu marin doit lutter en permanence contre la déshydratation. Il doit donc boire de l'eau de mer et éliminer la grande quantité d'ions ainsi absorbés.

En eau douce, la situation est inverse. Les poissons osseux boivent très peu et excrètent de grands volumes d'urine. La branchie est chargée de retenir le plus de sels minéraux possible.

Les poissons cartilagineux n'ont eux pas besoin de boire car l'osmolarité de leur organisme est égale à celle de l'eau de mer grâce à l'accumulation d'urée. C'est grâce à une régulation de cette quantité d'urée que certains poissons peuvent passer du milieu marin à l'eau douce (anguille) (Figure 71).

Une osmorégulation optimale est antagoniste d'une respiration maximale ! En cas de danger, le poisson favorisera en premier la fourniture d'oxygène pour s'occuper en second de son osmorégulation.

✓ **Reproduction**

Chez les poissons, la reproduction est sexuée. Les sexes sont soit séparés, soit simultanés ou successifs chez les espèces hermaphrodites.

Sexes séparés: les individus naissent mâles ou femelles et le restent durant toute leur vie. (ex: le Congre)

Hermaphrodisme simultané: chaque individu possède les deux sexes en même temps. En période de reproduction, un des deux sexes devient dominant et l'autre reste inactif. (ex: le Serran)

Hermaphrodisme successif: deux cas se présentent. Soit un individu naît mâle et devient femelle au cours de sa vie (c'est un hermaphrodite protandre) ou naît femelle puis devient mâle au cours de sa vie (c'est un hermaphrodite protogyne). Le premier cas concerne les Sparidae (Daurades, Sars ...); le second cas concerne les Labridae (Girelles, Crénilabres, Vieilles ..)

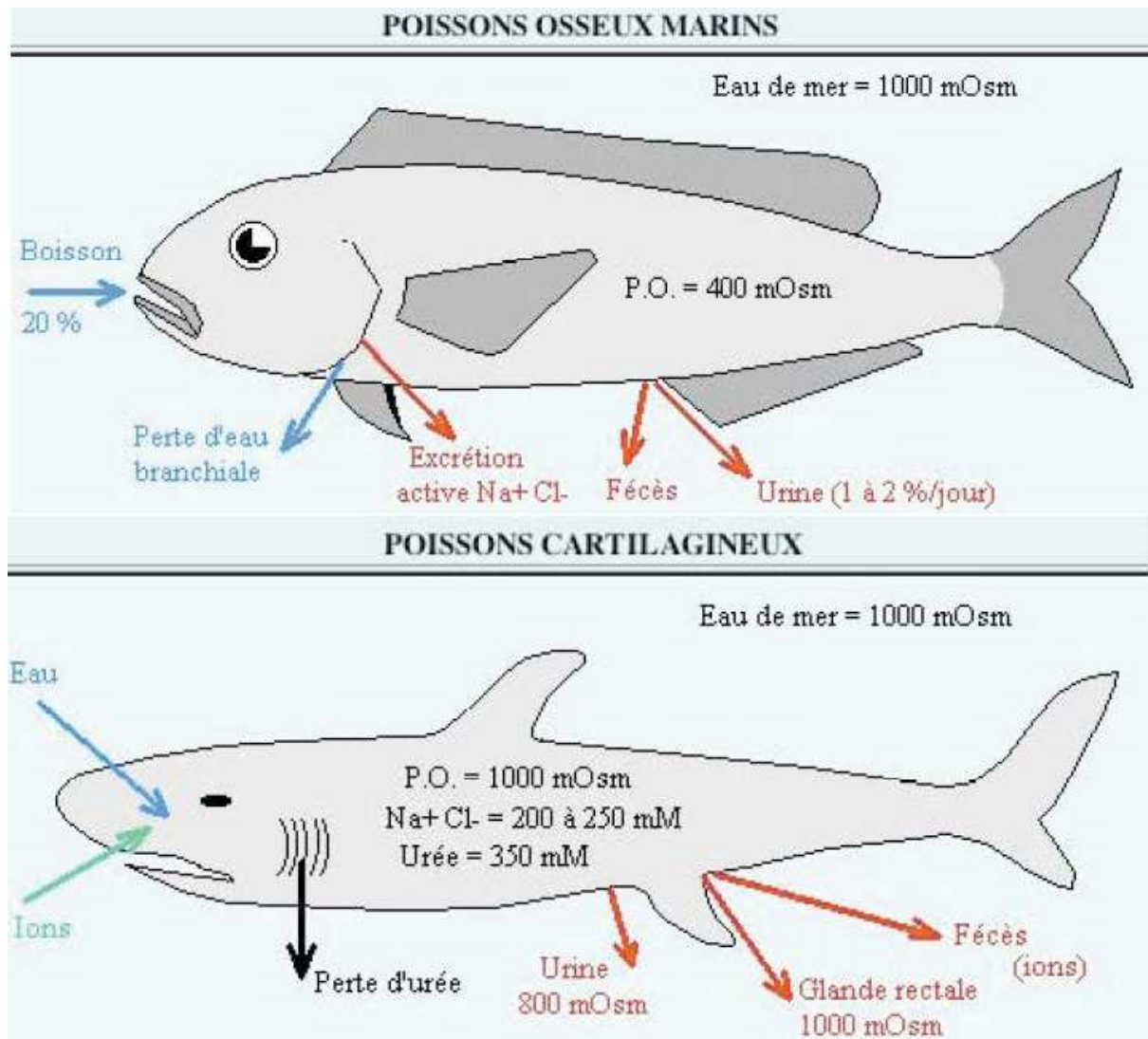


Figure 71 : Gestion de l'osmorégulation chez les poissons

✓ Alimentation

Les régimes alimentaires des poissons sont très variés et leur importance change d'une mer à l'autre.

Le phytoplancton est la première source de nourriture pour de très nombreuses larves. Ce régime phytoplanctonique ne dure souvent que quelques heures. Les larves se nourrissent ensuite de zooplancton.

Les poissons herbivores (se nourrissant d'algues et de phanérogames) sont peu nombreux en Méditerranée (ex : les saupes), contrairement aux mers tropicales.

Les poissons omnivores (se nourrissant de végétaux et d'animaux) sont assez peu nombreux (ex : blennies, tryptérygions, certains gobies). On rencontre également certaines espèces **détritivores**.

La majorité des poissons sont donc carnivores. Certains sont zooplanctonophages (se nourrissant du zooplancton) même au stade adulte, comme les sardines, les anchois. D'autres sont des brouteurs d'invertébrés (éponges, bryozoaires, hydraires). La plupart des carnivores **benthiques se nourrissent de petits crustacés** (crabes, crevettes), comme les labres, les girelles, les rascasses et les hippocampes. Les vers et les mollusques sont également souvent consommés, notamment par les raies et la dorade royale. **Les gros carnivores** comme les mérous, les congres, les murènes peuvent se nourrir d'autres poissons mais chassent aussi activement crabes, crevettes, poulpes et seiches. **Les piscivores** enfin ont un régime exclusivement composé de poisson. C'est le cas des grands prédateurs pélagiques comme le thon, les requins, les carangues et les barracudas. La baudroie possède même un filament pêcheur qu'elle agite devant sa bouche pour attirer les petits poissons !

2.8. Bibliographie

- Adoutte, A., Balavoine, G., Lartillot, N., Lespinet, O., Prud'homme, B et De Rosa, R., 2000. The new animal phylogeny: reliability and implications. PNAS 97 (9): 4463-4456.
- Aguinaldo, A.M., Turbeville, J.M., Lindorf, L.S., Rivera, M.C., Garey, J.R., Raff, R.A. et J. A Lake, 1997. Evidence for a clade of Nematodes, Arthropods and other moulting animals. Nature, 387: 489-492.
- Aristote. Histoire des animaux.
- Baldauf, S. L. and J. D. Palmer. 1993. Animals and fungi are each other's closest relatives: Congruent evidence from multiple proteins. Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) 90:11558-11562.
- Bally-Cuif, L., 1995. Les gènes du développement. Dunod.
- Cameron, C.B., Garey, J.R. et Swalla, N.J. (2000). Evolution of the chordate body plan: new insights from phylogenetic analyses of Deuterostome phyla. PNAS 97 (0): 4469-4474.
- Copeland, H. F. 1956. The Classification of Lower Organisms. Pacific Books, Palo Alto, California.
- Cuvier, G., 1797. Tableau élémentaire de l'histoire naturelle des animaux.
- De Rosa, R., Grenier, J.K., Andreeva, T., Cook, C.E., Adoutte, A., Akam, M., Carroll, S.B. et Balavoine, G., 1999. Hox genes in Brachiopods and Priapulids: implications for protostome evolution. Nature 399: 772-776.
- Haeckel, E., 1866.
- Haeckel, E., 1892. Anthropogeny.
- Halanych, K. M., Bacheller, J.D., Aguinaldo, A.M.A., Liva, S.M., Hillis, D.M. et J. A. Lake, 1995. Evidence from 18 S rDNA that Lophophorates are Protostomes Animals. Science, 267: 1641-1643.
- Hennig, W., 1966
- Jägersten, G., 1972. Evolution of the Metazoan life cycle. Academic Press, Lond and New York.
- Kim, J., W. Kim, and C. W. Cunningham. 1999. A new perspective on lower metazoan relationships from 18S rDNA sequences. Molecular Biology and Evolution 16:423-427.
- Lewis, E.B. 1978. A gene complex controlling segmentation in Drosophila. Nature 276: 565-570.
- Linné, K., 1753. Systema Naturae.
- McGinnis, WW et Kuziora, M., 1998. Les gènes du développement. Bibliothèque Pour la Science-L'évolution. 163-172.
- Moreira, D., Le Guyader, H. et H. Philippe, 2000. The origin and the evolution of chloroplasts. Nature, 405: 69-73.
- Peterson, K.J. et Davidson, E.R. Regulatory evolution and the origin of the Bilaterians. PNAS 97(9): 4430-4433.
- Prince, V.E., 2002. The hox paradox: more complex(es) than imagined. Developmental Biology 249: 1-15.

Telford, M.J., 2000. Evidence for the derivation of the *Drosophila* ftz gene from a Hox gene orthologous to lophotrochozoan Lox5. *Current Biology* 10: 349-352.

Tree of life, Patterson, D.J. <http://phylogeny.arizona.edu/tree/phylogeny.html>

Wainright, P. O., G. Hinkle, M. L. Sogin, and S. K. Stickel. 1993. Monophyletic origin of the Metazoa: an evolutionary link with fungi. *Science* 260:340-342.

Logiciels utiles, accessibles en ligne sur internet, téléchargeables ou non :

CLUSTALW

Dialign2 : sur INFOBIOGEN. Il suffit de copier les séquences (copier-coller) précédées du signe > et de les envoyer. Elles reviennent alignées selon des algorithmes ± sophistiqués.

Suivre le format de l'exemple suivant :

>esp1

ATGGGTCAACCTCCGCCC

>esp2

GAATTGGAACCCGGCCC

>esp3

TAATTATTAGGACGCCTTCCC

Noter que le nombre de sites (nucléotides ou acides aminés) n'est pas forcément le même pour toutes les espèces.

PHYLIP : accessible en ligne sur INFOBIOGEN ou téléchargeable gratuitement. La notice est bien faite. Ne pas oublier que les caractères commencent à la 11ème colonne !