

Sommaire du cours de Biologie Animale

Chapitre 1 : Les Protozoaires.

I\ Le règne des protistes.

- A\ Protozoaires = Animaux ?
- B\ Distribution des protozoaires et importance écologique.

II\ Morphologie et structure des protozoaires.

- A\ Taille.
- B\ Structure.

III\ Classification.

- A\ Les Sarcomastigophores.
- B\ Les Apicomplexes / Sporozoaires.
- C\ Les Ciliés (ou Ciliophores, ou Infusoires).
- D\ Les Myxozoaires.

IV\ Biologie des protozoaires.

- A\ La locomotion.
- B\ Nutrition.
- C\ Respiration et circulation.
- D\ Excrétion et osmorégulation.
- E\ La reproduction.

V\ Association avec d'autres organismes.

- A\ Mutualisme et symbiose.
- B\ Le parasitisme.

VI\ Les formes coloniales.

Chapitre 2 : Les Diploblastiques.

I\ Les spongiaires.

- A\ Organisation.
- B\ Classification.
- C\ La reproduction et le développement.

II\ Les cnidaires.

- A\ Les Anthozoaires.
- B\ Les Scyphozoaires.
- C\ Les Hydrozoaires.

III\ Les cténaires (= les Cténophores).

Chapitre 3 : Les Métazoaires Triploblastiques.

I\ Les Acœlomates.

- A\ Les Plathelminthes.

II\ Les Pseudocœlomates.

- A\ Les Nématodes (semblables à un fil).
- B\ Les nématomorphes.
- C\ Les Rotifères.

Chapitre 4-1 : Les Métazoaires Triploblastiques Cœlomates.

L'embranchement des annélides.

I\ La classe des Polychètes.

- A\ Morphologie externe.
- B\ Cœlome, métamérie et tégument.
- C\ L'appareil digestif.
- D\ L'appareil circulatoire.
- E\ L'appareil respiratoire.
- F\ L'appareil excréteur.
- G\ Système nerveux et organes des sens.
- H\ L'appareil reproducteur.
- I\ Reproduction et développement.
- J\ Ecologie et systématique.

II\ La classe de clitellates.

- A\ Les Oligochètes.
- B\ Les Achètes.

III\ les Pogonophores.

- A\ Morphologie externe.
- B\ Morphologie interne.

Chapitre 4-2 : Les Métazoaires Triploblastiques Cœlomates.

L'embranchement des Mollusques.

I\ Les caractères communs.

- A\ Le mollusque primitif.
- B\ Les points communs entre les sept classes actuelles.
- C\ Quelques caractères communs aux sept classes.

II\ Etude de classes.

- A\ Les Aplacophores.
- B\ Les Polyplacophores.
- C\ Les Monoplacophores.
- D\ Les Scaphopodes.
- E\ Les Gastéropodes.
- F\ La classe des Lamellibranches (ou Bivalves).
- G\ La classe des Céphalopodes.

Chapitre 5-1 : Les Arthropodes, Généralités.

I\ Caractères généraux.

II\ La diversité des arthropodes.

- A\ Le sous-embranchement des Trilobitomorphes.
- B\ Les Chélicérates.
- C\ Les antennates (ou mandibulates).

III\ Les Pararthropodes, groupe associé aux arthropodes.

IV\ Signification fonctionnelle de la métamérie.

- A\ La métamérie des arthropodes.
- B\ Signification fonctionnelle de la métamérie.

V\ La céphalisation.

Chapitre 5-2 : La locomotion chez les Arthropodes.

I\ L'exosquelette et l'appendice locomoteur.

- A\ L'exosquelette.
- B\ Les appendices locomoteurs.

II\ La locomotion chez les crustacés.

- A\ Les crustacés primitifs.
- B\ Les crustacés supérieurs : les malacostracés.

III\ La locomotion en milieu terrestre.

- A\ La marche.
- B\ Le saut.
- C\ Le vol.

Chapitre 5-3 : La respiration chez les Arthropodes.

I\ Les arthropodes aquatiques stricts.

- A\ Les crustacés : organes et mécanismes respiratoires.
- B\ L'appareil respiratoire des décapodes.

II\ La vie de la zone de balancement des marées.

- A\ La respiration branchiale.
- B\ La respiration tégumentaire.
- C\ La respiration pulmonaire.

III\ Les arthropodes terrestres.

- A\ L'appareil tégumentaire.
- B\ Les appareils trachéens.

IV\ Le retour au milieu aquatique.

- A\ Utilisation de l'O₂ atmosphérique.
- B\ Utilisation de l'O₂ dissout.

Chapitre 5-4 : Le Développement Embryonnaire des Arthropodes.

I\ Généralités.

- A\ Développement de type anamorphique.
- B\ Le développement épimorphique.

II\ Le développement post-embryonnaire des crustacés.

- A\ Le stade Nauplius.
- B\ Le stade métanauplius.
- C\ Le stade protozoé.
- D\ Le stade zoé.
- E\ Le stade mysis.

III\ Développement post-embryonnaire des insectes.

- A\ Le développement amétabole.
- B\ Les insectes hétérométaboles aurométaboles.
- C\ Insectes hétérométaboles hémimétaboles.
- D\ Insectes holométaboles à métamorphose vraie.
- E\ Analyse fonctionnelle des cycles de développement.

Chapitre 5-5 : Prédation et Défense chez les Arthropodes.

I\ La Prédation.

- A\ La capture.
- B\ Consommation.

II\ La réponse des proies : défense contre les prédateurs.

- A\ L'évitement.
- B\ La dissuasion.

- C\ La répulsion.
- D\ L'imitation d'un prédateur.

Chapitre 6 : L'embranchement des Cordés.

I\ Généralités.

- A\ Les caractères généraux.
- B\ Origine de l'embranchement des cordés.
- C\ Les vertébrés.

II\ Les Agnathes.

- A\ Les agnathes fossiles ou classe des Ostrachodermes.
- B\ La classe des cyclostomes.

III\ Les gnathostomes.

- A\ Les placodermes.
- B\ Les chondrichtyens.
- C\ Les Téléostomes (acanthodiens, actinoptérygiens, sarcoptérygiens et tétrapodes).

Chapitre 7 : L'Hominisation.

Généralités.

I\ L'Hominisation.

II\ L'origine de l'Homme moderne.

III\ Le cas du peuplement de l'Europe et des Néandertaliens.

IV\ De qui descendons-nous ?

Biologie Animale.

Chapitre 1 :

Les Protozoaires.

Les protozoaires furent observés pour la première fois il y a 300 ans. Ce sont des unicellulaires, mobiles au moins à un stade de leur développement. Aujourd'hui, ils sont placés dans le règne des protistes.

EMB	SOUS-EMB	SUPER CLASSE	CLASSE	SOUS-CLASSE	EXEMPLES
SARCOMASTIGOPHORES	Mastigophores = flagellés		Zoomastigophores		Choanoflagellés <i>Trypanosoma</i> <i>Leishmania</i> <i>Trichomonas</i> <i>Joenia</i> <i>Trichonympha</i>
					Opalines
	Opalines				
	Sarcodines	Rhizopodes	Lobosiens	Gymnamoebiens	<i>Chaos diffluens</i> <i>Entamoeba histolyca</i>
				Thecamoebiens	<i>Diffugia</i> <i>Euglypha</i>
				Granuloreticuloses	Foraminifères
		Actinopodes	Acanthaires		
	Heliozoaires				
APICOMPLEXES			Sporozoaires	Grégaires	<i>Stylocephalus longicollis</i>
				Coccidies	<i>Plasmodium falciparum</i> <i>Aggregata eberthi</i> <i>Toxoplasma</i> <i>Eimeria perforans</i>
CILIOPHORES = CILIES			Kinetofragminophores	Vestibulifères	
				Hypostomates	
				Suctoriens	
			Oligohymenophores	Hymenostomates	<i>Paramecium</i>
				Péritriches	<i>Vorticella</i>
			Polymenophores	Spirotriches	<i>Stentor</i> <i>Stylonychia</i>
MYXOZOAIRES					<i>Myxobolus pfeifferi</i>

I\ Le règne des protistes.

Les protistes sont des unicellulaires et la structure d'une amibe, par exemple, est comparable à n'importe quelle cellule eucaryote : ce sont des organismes autonomes assurant toutes leurs fonctions vitales → ce sont des cellules totipotentes.

Par conséquent, une cellule protiste n'est pas comparable à une cellule de métazoaire mais à un métazoaire en intégralité.

A\ Protozoaires = Animaux ?

Les unicellulaires autotrophes sont placés parmi les végétaux alors que les unicellulaires hétérotrophes sont rapprochés des animaux.

On peut donc distinguer :

- Les protophytes (affinité végétale) : ils ont un pigment pour la photosynthèse qui assure l'autotrophie. Ils possèdent aussi des constituants des cellules végétales comme l'amidon et la cellulose.
- Les protozoaires : Ils doivent se procurer les substances vitales dans l'environnement. Ce sont les animaux les plus simples.

- Les formes intermédiaires. Exemple : Euglena. Euglena possède des chloroplastes mais si elle est élevée à l'obscurité, elle devient un hétérotrophe irréversible.

B\ Distribution des protozoaires et importance écologique.

Malgré la simplicité de leur organisation, la structure protozoaire est réussie car la vie protozoaire est présente sous tous les climats et dans tous les habitats. On peut les trouver :

- A l'état libre (en milieu aqueux ou humide).
- Comme parasite (maladie).
- Comme symbiote.

La modification d'un plan structural de base, en vue de rendre les protozoaires capables d'occuper tous les habitats et de nombreux modes de vie est appelée « radiation adaptative ».

Cette radiation adaptative permet de réduire la compétition entre des animaux semblables à l'origine, ce qui permet l'accroissement de la diversité.

II\ Morphologie et structure des protozoaires.

A\ Taille.

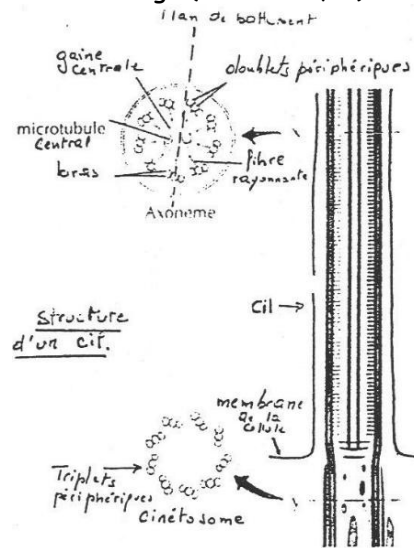
Les protozoaires ont une taille comprise entre 1 et 600 μ m. Les plus petits sont les sporozoaires ainsi que certains parasites intracellulaires. Les plus grands sont les amibes qui peuvent atteindre jusqu'à 5mm.

B\ Structure.

Les protozoaires possèdent tous les constituants classiques de la cellule eucaryote (organites spécifiques) :

- Membrane lipoprotéique mince : plasmalemme.
- Membrane lipoprotéique parfois doublée d'une enveloppe superficielle. Cette membrane a un rôle de protection contre les agressions et la déshydratation. Lorsque cette dernière est bien développée, on peut trouver une membrane cellulosique, calcaire, siliceuse. On général, on parle de test, de coque, de lorica, de loge...
- L'appareil de Golgi (synthèse de membrane). On trouve, à ce niveau, des différences. On observe des empilements de saccules qui forment les dictyosomes. Chez les flagellés, on trouve des dictyosomes très volumineux (ou appareil parabasal) qui ont un rôle dans la sécrétion et l'emballage.
- Le noyau. Chez les protozoaires, le noyau est souvent plurinucléé mais seulement pendant un état transitoire (division du cytoplasme en autant d'individus qu'il y a de noyaux). On trouve toutefois des protozoaires avec constamment deux noyaux : les ciliés (exemple : paramécies) qui possèdent un macronucléus et un micronucléus.

- Les cils et flagelles. Ils ont la même structure chez les protozoaires et les métazoaires (spermatozoïdes). Les cils sont courts et nombreux (5 à 15 μm) ; les flagelles sont plus rares et longs (150 à 200 μm).



- Le cytosquelette. Il est très développé et constitué par des microfilaments ou des microtubules. Les microfilaments sont constitués d'actine (protéine) et jouent un rôle dans les mouvements (contractions) de la cellule. Parfois, la cellule renferme, le long de son plus grand axe, une structure rigide, « l'axostyle » ou baguette qui est un faisceau de microtubules.
- Les trichocystes. On les trouve chez les ciliés, à la périphérie du cytoplasme. Ce sont des dispositifs de défense et d'attaque. Ce sont des petits dards gorgés de toxine. Ils jaillissent à l'extrémité d'un petit filament pour tuer ou paralyser les proies.

III\ Classification.

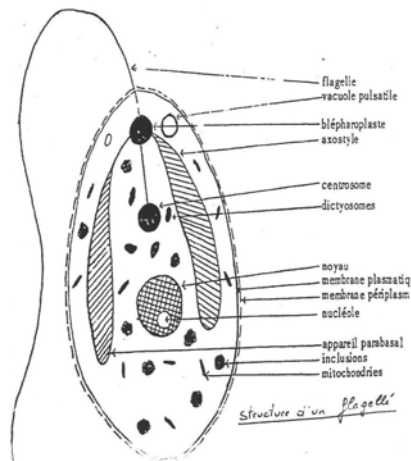
La classification des protozoaires a subi de nombreux remaniements ces dernières années. La principale discrimination se fait en fonction de l'appareil locomoteur.

On trouve quatre embranchements.

A\ Les Sarcomastigophores.

1\ Les Flagellés.

Ils réalisent leurs déplacements grâce à des flagelles. Au cours du cycle, il n'y a pas de spore. La reproduction sexuée est rare.



2\ Les Rhizopodes.

Ils sont dépourvus de cil ou de flagelle. Ils se déplacent grâce à des pseudopodes qui servent aussi à la capture des proies. La reproduction sexuée, dans ce groupe, n'est connue que chez les foraminifères.

3\ Les Actinopodes.

Ils ont des pseudopodes à disposition rayonnante, soutenus par des filaments rigides (axopode). Leur forme est généralement sphérique.

B\ Les Apicomplexes / Sporozoaires.

Ils émettent des spores flagellées pendant leur cycle reproducteur. Ils n'ont pas d'appareil locomoteur. Ils sont généralement transmis par un vecteur (moustique). Exemple : *Plasmodium falciparum* (paludisme).

C\ Les Ciliés (ou Ciliophores, ou Infusoires).

Ils présentent des cils à la surface de la cellule. Ils ont deux noyaux. Ils présentent divers modes de vie : libre (paramécie) ; fixé par un pédoncule ; symbiote ; parasites (peu nombreux).

D\ Les myxozoaires.

Ce sont des parasites de vertébrés, dont les poissons. En début de cycle, ils présentent une forme amiboïde qui évolue vers un plasmode plurinucléé : ils donneront une tumeur chez l'hôte. Le plasmode plurinucléé pourra aussi donner des spores complexes entourées d'une enveloppe de plusieurs cellules valvaires et donner finalement un germe pluricellulaire et plurinucléé.

IV\ Biologie des protozoaires.

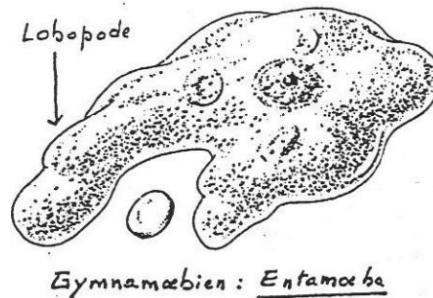
A\ La locomotion.

Le mouvement orienté permet la recherche de nourriture, d'un abri, d'un nouvel habitat, d'un partenaire sexuel. On trouve trois types d'appareils locomoteurs.

1\ Les pseudopodes.

Les pseudopodes sont des extensions cytoplasmiques temporaires pour la locomotion et la capture des proies. En général, des pseudopodes se rétractent pendant que d'autres se forment. Quatre formes de pseudopodes existent.

α \ Les lobopodes.



Ce sont des formes de digitation arrondie. Ils sont larges et courts, contiennent un endoplasme et un ectoplasme (périphérique). Les protozoaires présentant des lobopodes sont les amibes polypodiales (plusieurs pseudopodes) et les amibes monopodiales (un pseudopode).

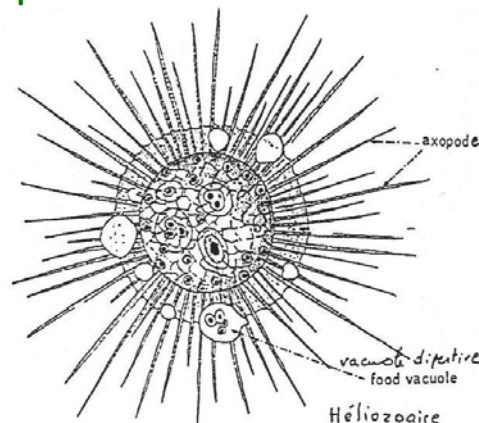
β \ Les filopodes.

On trouve des filopodes chez les thécamœbiens (*Diffugia*). Ce sont des pseudopodes fins, parfois ramifiés mais qui pointent toujours à une extrémité de la cellule. Ils sont incapables de s'anastomoser.

δ \ Les réticulopodes.

On les trouve chez les foraminifères. Ils sont fins, très ramifiés, se rejoignent pour constituer un réseau et même, les réticulopodes de plusieurs cellules peuvent se rejoindre et donner un réticulum multicellulaire ($\rightarrow$ filet pour piéger les proies). Exemple : *Elphidium*.

γ \ Les axopodes.



Ce sont des prolongements cytoplasmiques, à disposition rayonnante où chacun est soutenu par un filament axial (axonème) caractéristique des actinopodes.

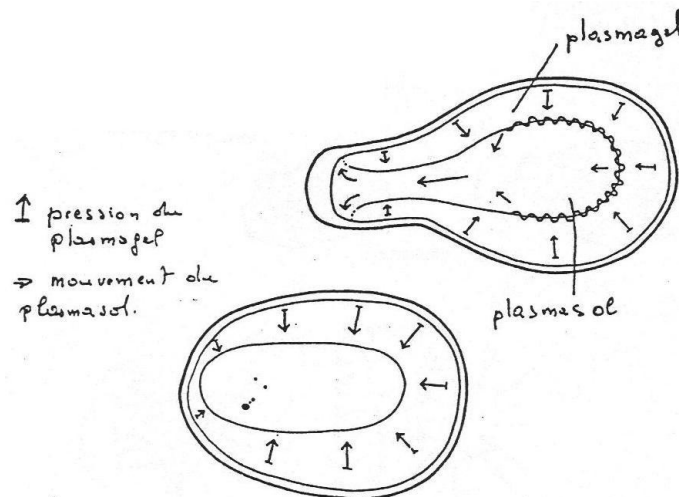
ε\ Formation du pseudopode.

La formation du pseudopode résulte de l'existence de courants cytoplasmiques. Juste sous la membrane, on a une zone claire ; dans la zone interne, on trouve un endoplasme granuleux. Le plasmagel (ectoplasme) est un gel. Le plasmasol est interne et beaucoup plus fluide que le plasmagel.

La plasmagel applique une pression constante sur le plasmasol. Si en un point de la cellule, le plasmagel est insuffisant, le plasmasol va faire irruption et envahir le pseudopode en extension.

Quand le plasmasol atteint l'extrémité du tube, il fait demi-tour et se transforme en plasmagel. Très rapidement, à l'extrémité du plasmasol se forme une couche rétentrice qui arrête le mouvement.

→ C'est le déplacement caractéristique des amibes nues. Leur déplacement est lent (2cm/H).



2\ Cils et flagelles.

Les cils et flagelles sont **permanents**, en position fixe. Selon les cas, on les trouve sur toute la surface du corps ou localisés. Ils ne sont efficaces qu'en milieu fluide.

α\ La locomotion par flagelles.

Ce type de locomotion caractérise les flagellés mais elle est aussi présente chez les spores et les microgamètes. Chez les flagellés, elle persiste chez les adultes. Les autres formes les perdent (cils et/ou flagelles) si elles s'enkystent.

La contraction du flagelle est une ondulation qui commence à la base et qui progresse vers l'extrémité.

En général, le déplacement se fait flagelle en avant, et la cellule semble tractée par son flagelle : c'est un mouvement de tractelle.

Si l'onde d'ondulation va de l'extrémité vers la base, la cellule est alors poussée et c'est un mouvement de pulselle que l'on observe (cas des spermatozoïdes).

En orientant le flagelle, il y a changement de direction.

Les flagelles permettent aussi un déplacement en latéral. L'onde de courbure peut être plane ou tridimensionnelle. Dans le dernier cas, le flagelle fonctionne comme une hélice, mais provoque la rotation du corps autour de son axe.

β\ La locomotion ciliaire.

Les cils se présentent sous forme de rangées, à la surface du corps.

Ils ont deux phases, effective et de recouvrement :

- Phase effective. Cette phase réalise la poussée. Le cil se raidie et se courbe à sa base pour donner un coup de fouet dans le plan de la rangée. Ce mouvement produit une impulsion. La direction de battement peut être inversée à tous moments.
- Phase de recouvrement (ou de récupération). Le cil retrouve sa position initiale. Il devient flasque et quitte le plan de mouvement pour se coucher sur le côté : pas de résistance à l'eau.

Quand il y a synchronie, tous les cils battent en même temps. Le plus souvent, le mouvement des cils est synchronisé avec les ondes locomotrices qui parcourent le corps : c'est la « métachronie ». → Les cils battent selon une séquence qui commence en un point et se propage sur le reste de la surface comme une vague.

L'onde locomotrice améliore l'efficacité du cil.

La surface est légèrement oblique par rapport au corps et l'onde parcourt un trajet en spirale autour de la cellule. → Les ciliaires se déplacent en s'enroulant autour d'un axe. Les paramécies se déplacent à 60cm/H.

δ\ Autres dispositifs.

- Les cils buccaux : ils entraînent les aliments vers la bouche.
- Les cils somatiques : ils servent à la locomotion.

Chez les ciliés hypotriches (*Stylonychia*), on trouve des groupes de 5 à 7 cils qui s'associent en petites touffes pour former des cirres. Dans ce cas, les cirres supportent le corps et permettent un déplacement sur substrat solide.

ε\ Membranes ondulantes. Exemple chez un flagellé : *Trypanosoma*.

Chez *Trypanosoma*, le flagelle est replié le long du corps cellulaire, et, entre la membrane cellulaire et le flagelle, se forment des points d'accolement qui créent une véritable membrane ondulante (prolongement de la membrane cytoplasmique).

L'extrémité du flagelle est libre. Ce sont ses ondulations qui font bouger la membrane.

B\ Nutrition.

1\ La prise de nourriture.

On trouve quelques saprophytes qui vont directement absorber les composés au travers de leur paroi : le système nutritionnel dégénère.

Les autres sont des holozoïques. Ils se nourrissent de nourriture solide (par prédation ou filtration).

α\ La prédation.

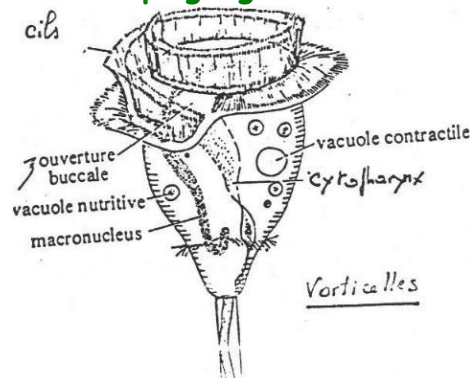
Les protozoaires pratiquant la prédation sont très mobiles. Par exemple, une amibe eut attraper une paramécie : plusieurs lobopodes participent à la prédation. La proie est ingérable en n'importe quel point du corps. Les pseudopodes servent à capturer la proie.

Il y a ensuite libération de substance toxique pour immobiliser la proie, puis, mise en place d'une « vacuole digestive ».

Les paramécies ont une « bouche » (le « *cytostome* »), située au fond d'un entonnoir cilié (le « *cytopharynx* »).

L'entonnoir est garni de cils qui, en battant, dirigent les proies vers la bouche. Le cytopharynx a un grand nombre de trichocystes qui paralysent les proies. Ces dernières sont ensuite amenées dans la vacuole digestive.

β\ Filtration ou « piègeage ».



Ce mode de nutrition est souvent réservé aux organismes sessiles (fixés), par exemple, *Vorticelles* (péritriche) : sa couronne de cils, par des battements, crée des tourbillons qui amènent les particules dans la bouche. Au fond du cytopharynx, il y a formation d'une vésicule digestive. La nourriture entre dans la cellule par endocytose.

Chez les choanoflagellés coloniaux, le flagelle bat et entraîne l'eau vers la collerette.

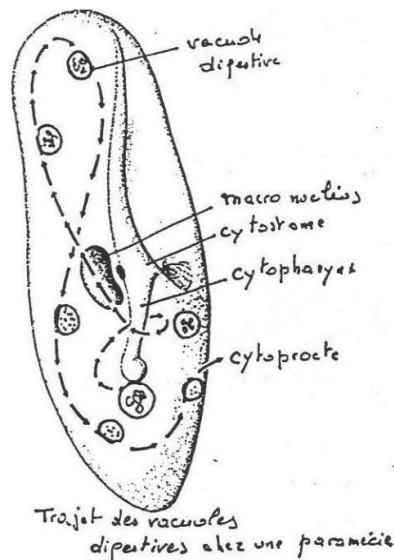
Chez les organismes libres, comme les Actinopodes flottants, il y a augmentation du rayon d'action par de nombreux axopodes rayonnant.

Chez les foraminifères, les réticulopodes ramifiés s'anastomosent et forment ainsi un piège à petits organismes.

2\ La digestion.

La vacuole digestive est l'organe permettant la digestion intracellulaire. Celle-ci dérive du plasmalemma. Les enzymes digèrent les éléments phagocytés. Il ne reste plus que les déchets non assimilables (dans la vacuole).

Ce sont les courants d'eau plasmique (ou cyclose) qui favorisent le trajet des vacuoles digestives. Aucun trajet n'est défini, sauf chez les ciliés. Là, la vacuole a un trajet défini de sorte que la position de cette vacuole renseigne sur l'état de digestion des éléments ingérés.



Pendant le trajet, il y a une série d'interventions d'enzymes, favorisées par les variations de pH.

Au début, le pH est neutre. Il devient ensuite acide (entre 3 et 4,5) puis remonte pour redevenir neutre à la fin du processus digestif.

3\ Egestion.

La vacuole alimentaire entre en contact avec le plasmalemme et les déchets sont évacués par exocytose. Chez les ciliés, l'exocytose se fait toujours au même point : on parle alors « d'anus » ou de « **cytoprocte** ».

Chez les amibes, la technique est différente. Les vacuoles usées s'accumulent dans une « queue » (l'**uroïde**) qu'elles traînent puis qui est abandonnée.

C\ Respiration et circulation.

La majorité des protozoaires est aérobie (les anaérobies sont indépendants de l'O₂). Les protozoaires aérobies n'ont pas d'organites spécialisés pour la respiration ; il y a diffusion d'O₂ par la paroi cellulaire.

Les cils et flagelles, par leurs battements, favorisent les échanges.

La circulation est assurée par les courants cytoplasmiques ; le transport étant favorisé par les déformations de la cellule.

D\ Excrétion et osmorégulation.

Ces deux fonctions (excrétion et osmorégulation) sont liées.

Les paramécies, à leurs deux extrémités, possèdent des **vacuoles pulsatiles**. Elles battent en opposition de phase. Quand une est en diastole, l'autre est en systole. Elles évacuent, par une ouverture temporaire de la membrane, l'eau qui entre par osmose dans la cellule, à partir d'un milieu hypotonique (eau douce). Leur rôle est de maintenir la pression osmotique.

Si les paramécies sont dans un milieu isotonique, les pulsations s'arrêtent. Les vacuoles n'existent pas chez les protozoaires marins et parasites.

Les déchets solubles sont évacués avec l'eau rejetée par les vacuoles pulsatiles (en partie). La plus forte partie de l'excrétion est assurée par la membrane (à son travers), sans intervention d'organe.

Tout le tour de la cellule est en contact avec l'eau, ce qui facilite les passages.

Quand les protéines sont dégradées, les déchets sont de type azotés : les protozoaires sont dits ammoniotéliques. Les vacuoles digestives participent à l'exocytose.

E\ La reproduction.

Il existe deux types de reproduction chez les protozoaires : la multiplication asexuée et la reproduction sexuée.

1\ La multiplication asexuée.

C'est le mode le plus répandu chez les protozoaires, surtout quand les conditions du milieu sont défavorables. Certains protozoaires ne pratiquent que cette méthode de multiplication.

La multiplication asexuée n'implique qu'un seul parent : tous les descendants seront donc identiques. Il existe alors un risque si le milieu est modifié (devient défavorable).

α\ La fission binaire.

La cellule se divise en deux. C'est le type le plus courant (les protozoaires présentent deux à trois fissions binaires par jour). La fission peut être non orientée (comme chez les amibes [animaux sans forme précise]), longitudinale chez les flagellés (*Trypanosoma*) ou transversale chez les paramécies (ciliés).

Il peut y avoir division du noyau sans division du cytoplasme : on obtient alors une forme transitoire ou résistante (*Amoeba binucleata*).

Si l'on trouve un grand nombre de noyaux, on parle de syncytium.

β\ Le bourgeonnement (ou gemmiparité).

Il y a apparition à la surface cellulaire d'un bourgeon exogène, suivie d'une division nucléaire, capable de constituer un individu complet qui se détache de l'individu souche. → C'est une fission binaire inégale.

Un bourgeonnement dans le cytoplasme est appelé bourgeonnement endogène.

δ\ Les divisions multiples ou schizogonie.

C'est un phénomène courant chez les sporozoaires, qui existe chez les foraminifères. Il y a une division répétée du noyau puis des divisions du cytoplasme qui forment autant d'individus qu'il y a de noyaux.

Une masse de cytoplasme va être abandonnée, puis meurt.

2\ La reproduction sexuée.

Il y a formation de cellules spécialisées (les gamètes) qui s'uniront en donnant un œuf (le zygote). Ce dernier est semblable morphologiquement aux parents mais génétiquement unique.

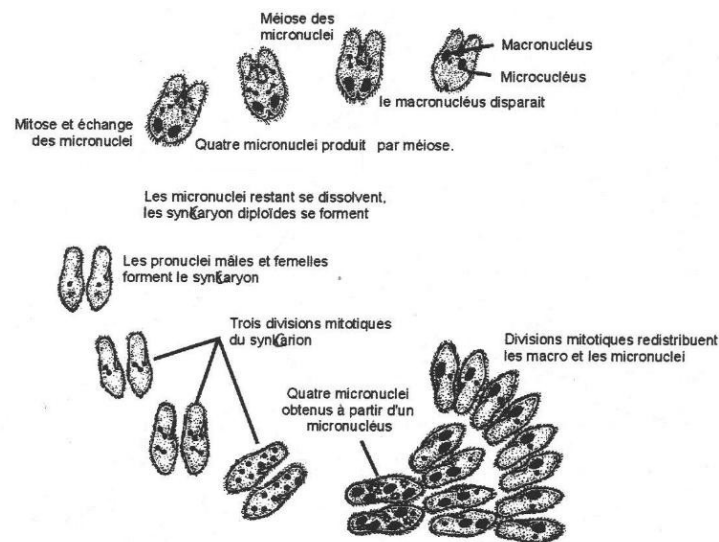
La reproduction sexuée assure une variabilité génétique de la population et donc, augmente la résistance de l'espèce aux conditions du milieu.

α\ L'hétérogamie.

On trouve deux types de gamètes. C'est le mode de reproduction le plus répandu chez les protozoaires (reproduction amphimitique) car elle fait intervenir deux géniteurs. Il existe deux phases :

- La gamétogamie : c'est la formation des **gamètes** qui sont soit identiques morphologiquement (= **isogamie**, chez les foraminifères), soit différentes morphologiquement (= **anisogamie**, chez des sporozoaires). L'isogamie existe chez les protozoaires les plus primitifs.
- La gamontogamie : c'est l'appariement des **deux gamontes** (mâle et femelle) sans passer par un véritable gamète (les gamontes donnent les gamètes).

β\ La conjugaison (uniquement chez les ciliés) ; exemple de la paramécie.



Conjugaison chez la Paramécie

C'est une fécondation réciproque de deux individus accouplés qui échangent une partie de leur matériel nucléaire. Chaque conjuguant devient un vrai zygote. Il y a échange de noyaux haploïdes dont la fusion rétablit la diploïdie.

- Accolement au niveau du péristome → les macronucléus dégénèrent.
- Les micronucléus subissent une division équationnelle → deux cellules à noyau diploïde.
- Une division réductionnelle → deux cellules à quatre noyaux haploïdes → Les pronucléi.
- Trois pronucléi par cellule dégénèrent. Le quatrième subit une mitose et donne deux noyaux haploïdes par cellule : ce sont des noyaux de fécondation (un mâle et un femelle par cellule).
- Echange des noyaux mâles.
- Dans chaque cellule, les pronucléi fusionnent : c'est la fécondation.
- On obtient deux zygotes : le syncarion.

Ensuite, il y a plusieurs divisions post-conjugaison qui rétablissent le complément nucléaire dont, la reformation du macronucléus dans chaque cellule fille.

δ\ L'autogamie.

L'autogamie est un mode de reproduction automictique : n'implique qu'un parent. Ce n'est pas une multiplication bien qu'un individu donne un individu. C'est un rajeunissement génétique de l'individu. On rencontre cette reproduction chez certains ciliés, foraminifères et héliozoaires (actinopodes).

Exemple du cycle d'*Actinophrys*.

- Il rentre ses pseudopodes et s'enkyste.
 - Il se divise et donne deux gamontes (un mâle et un femelle).
 - Les gamontes donnent des gamètes.
 - Les gamètes fusionnent en un seul individu.
- C'est un peu une modification de la conjugaison avec une simple redistribution des gènes.

3\ Les cycles.

On distingue trois types de cycles schématiques biologiques des protozoaires.

α\ Cycle haplobiontique.

La phase haploïde est longue. Seul le zygote est à l'état diploïde. La réduction chromosomique est immédiate.

β\ Cycle haplodiplobiontique.

Il y a alternance des phases haploïde et diploïde qui sont équivalentes en durée.

La méiose a lieu à la fin de la vie de l'organisme diploïde → L'alternance de phase est une alternance de génération.

Exemple d'*Elphidium crispum* (foraminifère).

La génération diploïde présente un individu microsphérique alors que la génération haploïde montre un individu macrosphérique.

δ\ Cycle diplobiontique.

Les individus sont diploïdes. La méiose intervient lors de la gamétogenèse ou pendant la rencontre des individus chez les ciliés.

V\ Association avec d'autres organismes.

Les protozoaires **épizoïques** vivent fixés sur des plantes ou sur des animaux (sur la surface corporelle). Pour la nutrition, ils sont indépendants de l'hôte.

Les protozoaires **endozoïques** (qui vivent dans un autre organisme).

Ils sont totalement dépendants de leur hôte. On les trouve dans les organes creux, dans les tissus ou dans les cellules.

On distingue deux cas :

- Mutualisme et symbiose.
- Parasitisme.

A\ Mutualisme et symbiose.

Les protozoaires entretiennent un rapport à bénéfice réciproque avec leur hôte. On détaille deux cas :

Exemples d'association tripartite : **protozoaire + bactéries + termite** et **protozoaire + bactéries + mammifères ruminants**.

Dans tous les cas, les symbiotes sont localisés dans un segment du tube digestif qui devient une **chambre de fermentation**.

1\ Association avec les termites.

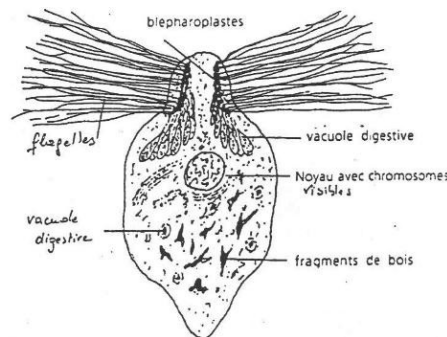


Schéma de *Trichonympha agilis*

Les termites sont xylophages et ont par conséquent, un régime alimentaire pauvre en éléments azotés. Il se forme une chambre de fermentation dans un diverticule du proctodéum : la panse rectale.

Cette panse abrite une faune importante de *Trichonympha* et de bactéries. *Trichonympha* a un aspect piriforme. La partie apicale forme un rostre qui porte de nombreuses flagelles. Ces protozoaires possèdent l'équipement enzymatique nécessaire qui permet la digestion de la cellulose (les termites en sont dépourvus).

→ Les termites concassent le bois en fragments phagocytés par les *Trichonympha*, puis, digèrent la cellulose et rejettent de la lignine.

Au centre de ces cellules de protozoaires, on trouve un très grand nombre de bactéries qui entourent l'axostyle et les fragments de bois. Les bactéries dégradent les déchets puriques, ce qui restitue de l'azote aux termites.

Un termite sans *Trichonympha* meurt.

L'intérêt pour le protozoaire est qu'il est abrité par l'insecte et alimenté en aliments déjà mâchés. Cette symbiose est constante chez les termites et chez certaines blattes.

Le compartiment proctodéal du termite est soumis aux mues → perte des protozoaires. Le termite doit ré-ensemencer son tube digestif en ingérant sa dépouille ou en quémandant des gouttelettes du contenu rectal d'un congénère.

2\ Association avec les mammifères ruminants.

Les protozoaires sont capables de digérer la cellulose alors que les mammifères en sont incapables. La digestion de cette matière se fait donc dans un estomac compartimenté en quatre chambres digestives (panse, bonnet, feuillet, caillette). La panse est la chambre de fermentation. Chez le bœuf, elle peut atteindre 250 litres. On y trouve 10^{11} bactéries/mL et 10^6 ciliés/mL. Les bactéries digèrent aussi la lignine. Les protozoaires sont anaérobies.

Les ciliés phagocytent la lignine mais aussi les bactéries. Le bœuf digère de grandes quantités de ciliés et de bactéries.

On considère qu'un bœuf digère 1kg à 1,5kg de bactéries et de ciliés par jour.

Les ruminants sont un groupe prospère : leur réussite est sans doute liée à cette association symbiotique.

B\ Le parasitisme.

Un parasite est un organisme qui vit au dépend d'un autre être vivant. Pour le parasite, l'association est obligatoire.

1\ Parasitisme chez les flagellés.

Exemple des Trypanosomides (reproduction sexuée inconnue).

Ils s'attaquent à l'Homme et au bétail. Certains se développent dans les parties antérieures du tube digestif d'un insecte piqueur. C'est le cas de *Trypanosoma brucei gambiense* et de *Trypanosoma brucei rhodésienne*. Ils provoquent la maladie du sommeil et sévissent soit en Rhodésie, soit en Gambie. Ils sont transmis par la mouche tsé-tsé ou *Glossine*. La transmission se fait par piqûre.

Le trypanosome peut vivre aussi chez des mammifères sans les inquiéter (porteurs sains) tels les antilopes et les porcs : ce sont des « réservoirs à virus ».

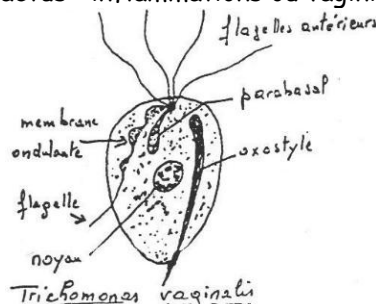
Exemple de *Leishmania aethiopica*.

Ce dernier est transmis par un petit moustique. Ses « réservoirs à virus » sont les chiens et les rongeurs. Quand l'Homme est piqué, le flagellé pullule au point d'inoculation. ➔ Altération cutanée (le « bouton d'orient ») qui laisse des traces indélébiles. On trouve ce parasite en Afrique du Nord et au Moyen-Orient.

Exemple des Trychomonadine.

Ils ont une forme en amande et portent 4 à 5 flagelles répartis en une petite touffe apicale et un flagelle formant une membrane ondulante.

Le cas de *Trichomonas vaginalis*. C'est un parasite du tractus uro-génital. Chez la femme il provoque un déséquilibre de ce tractus : inflammations ou vaginites.



La transmission à l'homme se fait par voie sexuelle et ils s'installent dans l'urètre et la prostate où ils donnent des kystes. Ils peuvent survivre plusieurs heures sur des linges souillés... Ce qui explique la « vaginite de la vierge ».

Chez l'homme, ils sont responsables de 15% des inflammations de l'urètre.

2\ Parasitisme chez les rhizopodes.

Exemple d'un amibe : *Entamoeba histolytica*. Amibe monopodial.

On ingère un kyste avec de l'eau ou des légumes souillés par des excréments humains. Le dékystement se fait dans le gros intestin.

Il existe deux formes d'*Entamoeba histolytica* : une forme non pathogène (*minuta*) qui se nourrit de bactéries et d'amidon ; une forme pathogène qui va perforer les capillaires sanguins et sécréter des enzymes histolytiques qui provoquent des ulcères du colon. Il y a déclenchement d'une dysenterie amibienne caractérisée par des douleurs abdominales et des diarrhées sanguinolentes. Ces amibes peuvent ensuite gagner le foie, le cerveau, les poumons... en passant par le sang. On les trouve dans les zones tropicales.

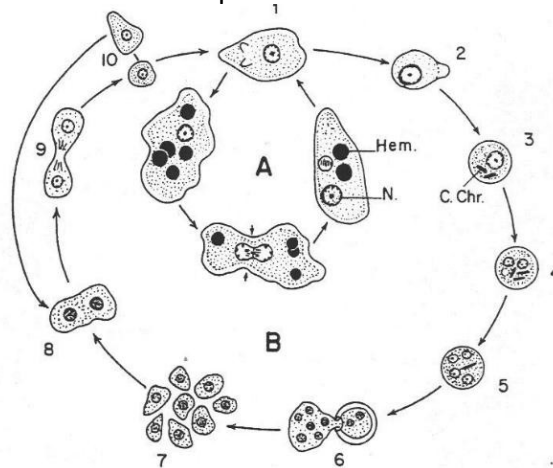


FIG. 2.9. Cycle évolutif d'*Entamoeba histolytica*.

A. : Cycle de la forme hémaphogène ; B. : Cycle de la forme *minuta* et enkystement ; 1 : trophozoïte (forme végétative) ; 2 : stade prékystique ; 3 : jeune kyste à un seul noyau ; 4 : jeune kyste à 2 noyaux ; 5 : kyste mûr à 4 noyaux ; 6 : ouverture du kyste et libération d'un plasmode à 8 noyaux ; 7 : formation de 8 petites amibes (forme *minuta*) uninucléées ; 8, 9, 10, 8 : cycle de division des formes *minuta*. C. Chr. : corps chromatique ; Hem. : hématie ; N. : noyau.

3\ Parasitisme chez les sporozoaires.

Les sporozoaires sont tous parasites. Leur cycle est caractérisé par l'alternance d'une phase asexuée (schizogonie) et d'une phase sexuée (gamogonie). La schizogonie se déroule lors de l'infestation de l'hôte. La gamogonie permet la transmission d'un hôte à l'autre.

Le cycle débute avec le sporozoïte (qui contamine l'hôte définitif) qui donne un trophozoïte. Il y a ensuite multiplication des noyaux, divisions du cytoplasme, ce qui entraîne l'apparition d'autant de schizozoïtes qu'il y a de noyaux. Les schizozoïtes s'accroissent pour donner les gamontes (gamogonie).

Les gamontes femelles s'accroissent pour évoluer en macrogamètes. Les gamontes mâles subissent la gamogonie (division du noyau puis du cytoplasme) : au final, on a alors un grand nombre de gamètes mâles.

L'anisogamie est de règle.

La fusion des gamètes donne un zygote (diploïde) qui subit de suite la méiose.

La phase de sporogonie est caractérisée par des multiplications du noyau → Il y a libération d'un grand nombre de spores. Ces dernières donneront les sporozoïtes.

On observe deux principaux groupes : les Coccidies (de petite taille) et les Grégarines (de grande taille).

α\ Exemple de Coccidie monoxème (maladie du « gros ventre » chez les lapins).

Le lapin s'infeste en mangeant de l'herbe souillée. Les spores ingérées arrivent dans le tube digestif et libèrent des sporozoïtes qui entrent dans les cellules intestinales. Les sporozoïtes se multiplient et vont infester d'autres cellules intestinales.

La fécondation a lieu dans la lumière du tube digestif. Les zygotes s'entourent d'une membrane épaisse : ce sont les spores. Le tout est rejeté avec les excréments.

β\ Exemple de Coccidie dixène.

Les hôtes définitifs sont les félidés (chat, puma, jaguar...). Après ingestion, il y a infestation des cellules intestinales, puis, multiplication par schizogonie. Les cellules intestinales vont éclater et libérer des sporozoïtes qui parasiteront d'autres cellules. Les gamontes males et femelles vont fusionner pour former un zygote (oocyste) qui sera évacué avec la matière fécale.

Dans le milieu extérieur se produit la méiose. L'oocyste donne deux sporocystes contenant chacun 4 sporozoïtes. Le pouvoir infectieux va de 30 jours à sec, à 1 an en milieu humide.

Le passage à l'hôte intermédiaire est possible. Il y a enkystement dans les muscles.

Le passage à l'Homme se fait par des légumes souillés ou par le bœuf, le porc, le mouton... mais l'Homme n'est pas l'hôte définitif. S'il y a prolifération des kystes, elle se fait au niveau des viscères, des poumons, des muscles et de l'encéphale.

La transmission congénitale est possible par voie placentaire. Si la contamination se fait durant le premier trimestre, il y a un risque d'avortement ou de malformation. Après ce premier trimestre, la contamination sera détectable par des signes d'infection généralisée à la naissance.

δ\ Coccidie hétéroxène (paludisme).

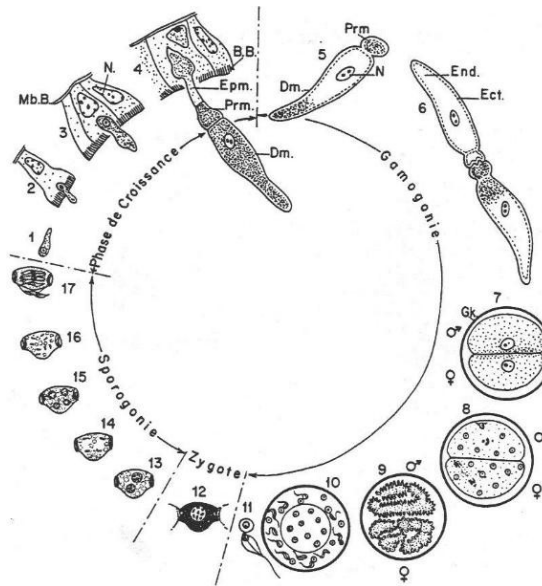
Le paludisme tue chaque année 2,5 millions de personnes.

La schizogonie a lieu chez l'Homme. La gamogonie et la sporogonie se font chez le moustique (anophèle). Les symptômes sont des accès de fièvre toutes les 48 heures, dues à l'éclatement des globules rouges et à la libération de protéines et du parasite dans le plasma.

ε\ Les Grégarines.

Les Grégarines parasitent les tubes digestifs **d'invertébrés** (annélides et insectes). Le trophozoïte est mobile (pour un déplacement dans l'intestin).

Exemple de *Stylocephalus langicollis*.



C'est un parasite d'un coléoptère du genre blaps.

L'infestation se fait consommation de spores abandonnées par un individu atteint.

Dans les phases 1 à 3, le parasite s'incruste dans le cytoplasme des cellules de la paroi de l'intestin. Rapidement, le trophozoïte se différencie en trois parties :

- Une partie étroite, terminée en suçoir enfoncée dans les cellules intestinales : **l'épimérite**.
- La partie moyenne : **le protomérite**.
- La partie externe : **le deutomérite**. Il renferme la plus grande partie du cytoplasme et le noyau.

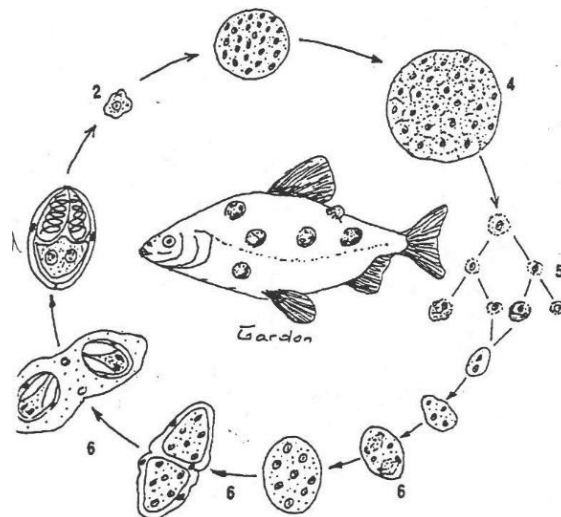
Le départ se fait par rupture de l'épimérite qui reste dans la cellule hôte. Ensuite, il y a accollement, deux à deux, des **trophozoïtes (= syzygie)** au niveau de protomériles → mucus qui entoure les deux cellules (une cellule mâle et une cellule femelle → petit kyste appelé gamétocyste, évacué avec les fécès).

Dans le milieu externe, les noyaux se multiplient et se disposent à la périphérie du cytoplasme

Phase 9 : perlage des gamètes.

Après la fécondation, on obtient un grand nombre d'œufs. Un zygote donne une spore qui subit trois divisions successives (la première étant réductionnelle).

4\ Parasitisme chez les Myxozoaires.



Cycle biologique de *Myxobolus pfeifferi* : 1: spores
2 à 4 schizogonie ; 5: gamogonie ; 6: sporogonie

Exemple de *Myxobolus pfeifferi*.

En 2, on a un germe amiboïde : le **sporoplasme**.

En 1, on a le stade final : la spore contenant le germe.

Le sporoplasme est binucléé (2 noyaux). La structure de la spore est pluricellulaire → on a une coque périphérique à plusieurs cellules. Elle renferme le sporoplasme et un filament, dont le déroulement favorise la libération de sporoplasme.

Le poisson s'infeste en ingérant les spores. Elles s'ouvrent dans l'intestin et libèrent le sporoplasme qui va se localiser dans les muscles où il subira de nombreuses schizogonies. Le tissu hôte donne des tumeurs qui abritent un grand nombre de kystes à structure en plasmobe.

On suppose que dans le plasmobe, il y aurait réduction chromatique et gamétogenèse. Ce qui est sûr, c'est qu'il y a évacuation d'une spore avec les excréments.

VI\ Les formes coloniales.

Des colonies existent chez les choanoflagellés : elle varient de quelques individus à plusieurs milliers. Il peut même y avoir une différenciation des individus (végétatifs/reproductifs).

Par ces adaptations, les protozoaires coloniaux se rapprochent de l'organisation des pluricellulaires.

Biologie Animale.

Chapitre 2 :

Les Diploblastiques.

Les diploblastiques sont, de façon générale, des métazoaires : une association de cellules qui se partagent le travail. Il existe de nombreux stades chez les métazoaires.

Il existe un groupe, les parazoaires, situés entre les protozoaires et les métazoaires : les spongiaires. Ces spongiaires sont une association cellulaire pouvant se défaire. La différenciation n'apparaît pas d'emblée. Chez les diploblastiques, il existe des cellules totipotentes.

Lorsqu'une partie du génome est exprimée et que l'autre partie est inhibée, on a une cellule différenciée.

Les cellules différenciées s'associent pour former des couches monostratifiées : les feuillet. Quand les cellules forment les deux feuillet fondamentaux, on parle alors d'organismes diploblastiques. Le feuillet interne est appelé endoderme et le feuillet externe est appelé ectoderme.

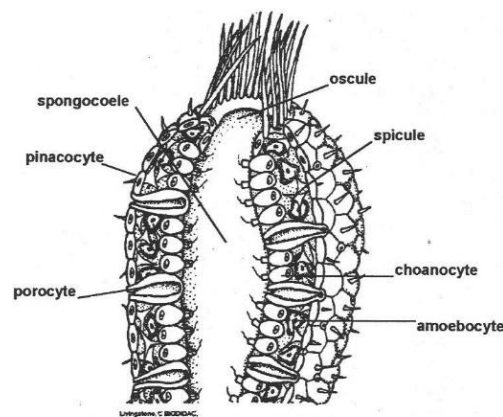
Les mêmes phénomènes sont observés au cours de l'embryogenèse. Le début d'un animal est un stade unicellulaire (l'œuf) qui passe ensuite par le stade diploblastique (gastrula). Chez les diploblastiques, le développement s'arrête à ce stade.

Les trois embranchements des diploblastiques sont : les spongiaires, les cnidaires (polypes et méduses) et les cténaires.

I\ Les spongiaires.

Les spongiaires sont des organismes essentiellement marins. On trouve autour de 5000 espèces. Ce sont des organismes sessiles (vivant fixés). Leurs seuls mouvements sont des contractions locales du corps et des mouvements d'ouverture et de fermeture des pores.

A\ Organisation.

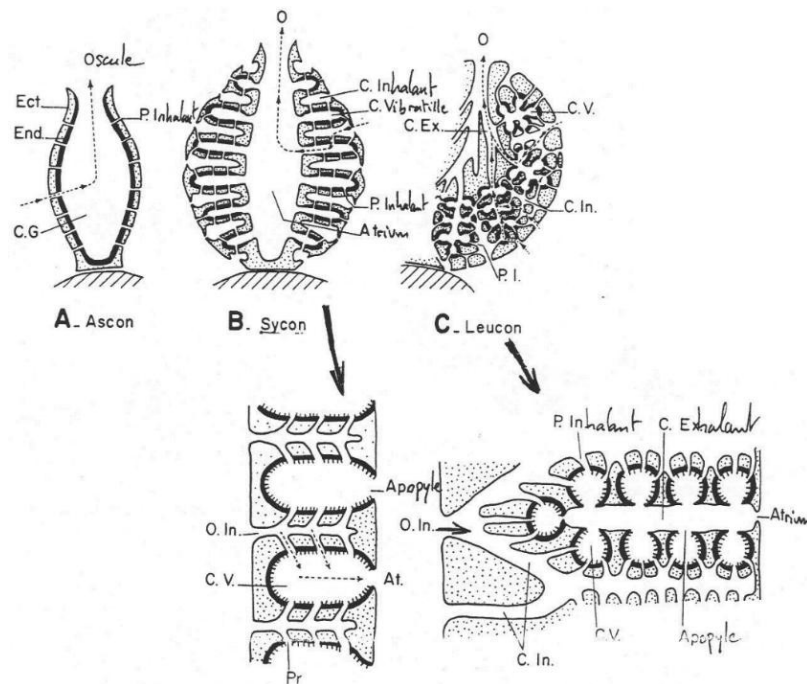


PAROI D'UNE EPONGE (ASCON)

Ce sont donc des parazoaires. Les différentes catégories cellulaires n'ont pas de cohésion définitive. Dans la mésoglée, on trouve de nombreuses cellules totipotentes.

Le spongiaire type est le type **olyntus** : c'est une amphore fixée par sa base. L'apex porte un orifice exhalant unique (l'oscul) et la paroi est percée de nombreux pores inhalant.

Suivant la complexité de la paroi, on distingue différents stades (**pas de groupe systématique**).



1\ Le stade Ascon.

Le stade ascon est le stade le plus juvénile de la plupart des éponges. La structure de la paroi est identique en tous points du corps. Il n'y a ni organe ni appareil.

La mésogée forme une gelée où circulent différentes catégories cellulaires, totalement indépendantes.

L'ectoderme est formé d'un épithélium de revêtement : les pinacocytes. Ce sont des cellules aplaties, jointives, recouvertes d'une fine cuticule. Entre les pinacocytes s'ouvrent les pores inhalants, formés par des porocytes (pour l'entrée d'eau).

Le feuillet interne tapisse toute la **cavité gastrale** (ou **atrium** ou **spongocœle**) et est composé de choanocytes. Ce sont des cellules de grande taille, pourvues d'un long flagelle et l'apex forme une collerette de nombreuses microvillosités. Les choanocytes ressemblent aux choanoflagellés. Ils créent un courant d'eau dans l'atrium, ce qui permet la capture de particules alimentaires dans la collerette, mais aussi, la circulation de l'O₂.

Dans la mésogée, on trouve :

- Des **sclérobastes** : ils sécrètent les spicules. Ils peuvent se grouper par groupe de 2 ou 3 (et donner ainsi des spicules de 2 ou 3 axes).
- Des **cellules amiboïdes** à rôle phagocytaire.
- Des **collancytes** qui sécrètent la mésogée.
- Des **archéocytes** : ce sont de véritables cellules totipotentes.
- Des **myoblastes** (en petit nombre) : ce sont des cellules capables de contraction.
- Des **cellules nerveuses**, diffuses.

2\ Le stade Sycon.

Les choanocytes se localisent dans des diverticules tubulaires qui débouchent dans l'atrium par des orifices : les apopyles. → Il y a formation de canaux pour piéger l'eau chargée de particules alimentaires.

3\ Le stade Leucon.

Chaque diverticule se divise en diverticules secondaires appelés « **corbeilles vibratiles** ». Les choanocytes sont dans ces corbeilles. Elles débouchent dans des canaux exhalants, en relation avec l'oscule.

B\ Classification.

On reconnaît trois classes, selon la nature des spicules :

- **Les éponges calcaires** : les spicules sont composés de calcite. Elles peuvent être simples ou composées. Il existe deux formes :
 - *Homocæle* : les choanocytes tapissent tout l'atrium.
 - *Hétérocæle* : il y a formation de corbeilles vibratiles ou de diverticules tubulaires.
- **Les Hexactinellides** (ou triaxonides ; genre *Euplectella*). Les spicules sont composées de silice hydratée et donnent une architecture cohérente. Elles possèdent trois axes et parfois, peuvent atteindre une longueur de 60 centimètres.
- **Les Démosponges** : le squelette est formé de spongine pouvant être associée à quelques spicules siliceux.

C\ La reproduction et le développement.

Les éponges sont gonochoriques ou hermaphrodites ; il n'y a jamais de gonades.

1\ La gamétogenèse.

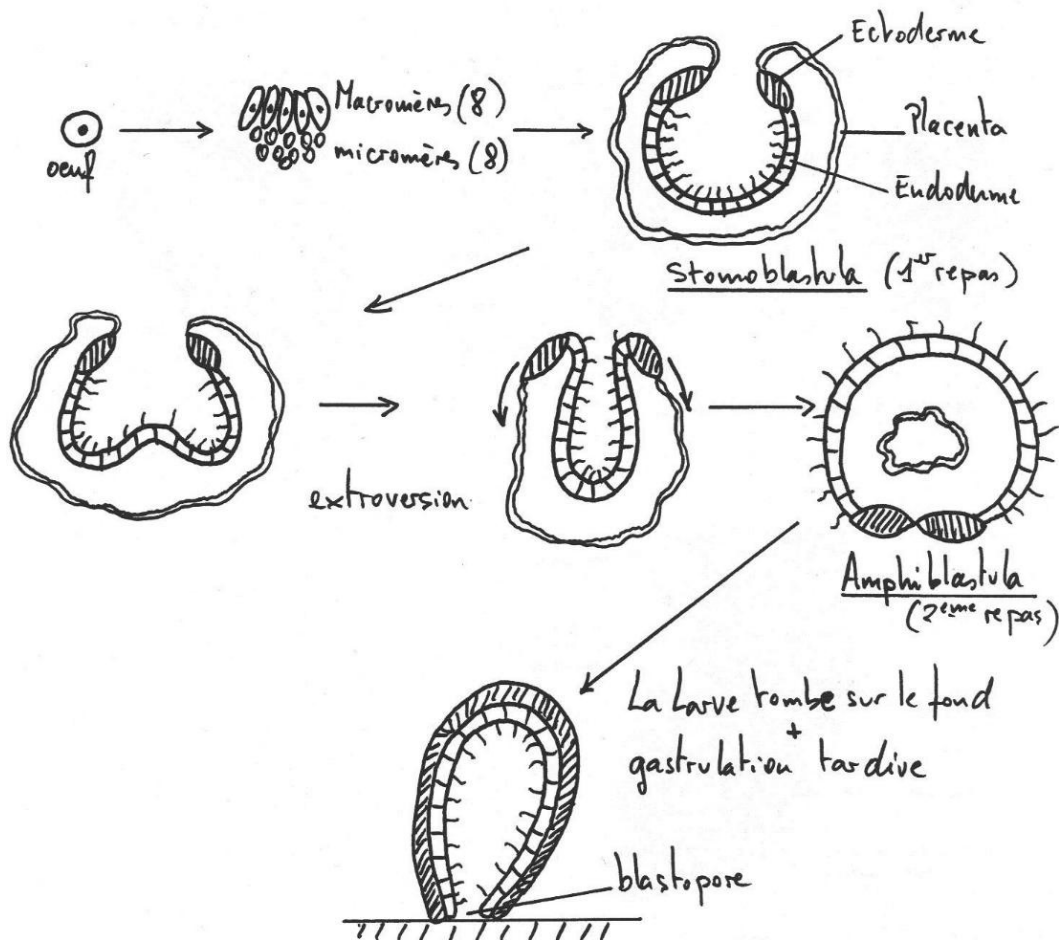
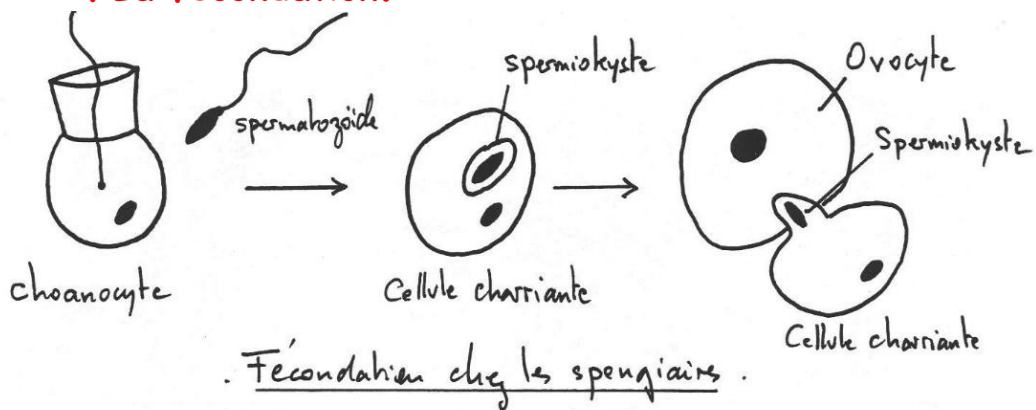
α\ Les gamètes mâles.

Ces gamètes sont des **archéocytes diploïdes** situés dans la mésoglée. Ils se divisent en deux cellules diploïdes dont l'une entoure l'autre. Ensuite, il y a méiose et se forme 4 cellules haploïdes qui seront les spermatozoïdes.

β\ Les gamètes femelles.

Ces gamètes sont dans la mésoglée. Les **archéocytes** se différencient en cellules arrondies (oogonies) qui passent dans les corbeilles vibratiles. C'est là qu'à lieu la méiose. Les cellules regagnent la mésoglée et connaissent une augmentation du volume cytoplasmique et sont alors des ovocytes.

2\ La fécondation.

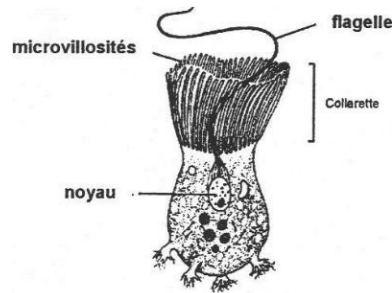


Un spermatozoïde pénètre dans un choanocyte et perd son flagelle. Le choanocyte perd collerette et flagelle. Le spermatozoïde devient alors un **spermiokyste** alors que le choanocyte devient une **cellule charriante**.

Cette dernière va aller au **contact de l'ovocyte** pour y injecter le **spermiokyste**.
C'est une **fécondation indirecte**.

3\ Le développement embryonnaire et larvaire.

Le développement est particulier. Les éponges, **vivipares**, incubent l'embryon dans la mésoglée. Après la fécondation, l'**œuf** subit **4 divisions** qui l'amènent au stade 16 blastomères (8 macromères et 8 micromères). Les **macromères** donneront les **cellules supérieures** à potentialité ectodermique alors que les **micromères** ont une **potentialité endodermique**.

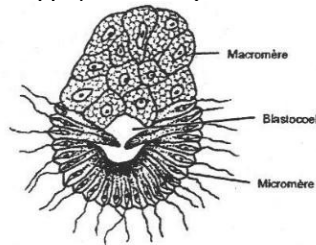


CHOANOCYTE

Les micromères se divisant plus vite que les macromères, on atteint un stade intermédiaire (**blastula**) : *sphère creuse*. Les cellules endodermiques de la blastula vont acquérir des flagelles alors que les cellules ectodermiques s'écartent pour ménager un orifice (différent du blastopore). → C'est le **stade stomoblastula**. Le **premier repas** se fait par consommation des choanocytes de la mère.

La stomoblastula subit une inversion des feuilletts par **extroversion** : inversion des surfaces par l'ouverture ménagée dans l'ectoderme.

→ On obtient une *larve nageuse* typique ou **amphiblastula**.



AMPHIBLASTULA

Lors du mouvement de migration des feuilletts, le placenta s'est retrouvé dans la larve : il se fait digérer ; c'est le **second repas embryonnaire**.

La larve va tomber sur le fond et il se passe alors la véritable gastrulation. La larve se fixe par le blastopore, l'endoderme perd sa ciliature alors que se différencient les choanocytes.

Le blastopore se ferme et l'oscul se perce à l'apex. L'ectoderme voit se différencier des sporocytes.

4\ Notion d'individu.

C'est une notion floue car les **cellules sont très malléables**. Si l'on fragmente une éponge, on peut faire un **bouturage**. Il peut se former des **amas d'archéocytes** affleurant en surface. Ils se détachent (en devenant des **propagules**) et donnent un nouvel individu. Les propagules peuvent être différenciés.

Les propagules s'entourent de deux couches cellulaires qui édifient des amphidisque. Ces derniers vont attendre le retour de conditions favorables pour redonner des propagules puis de nouveaux individus.

→ Il n'y a **pas d'individu au sens strict, ni de colonie**.

→ Ce sont des *individus particuliers* (**parazoaires**).

II\ Les cnidaires.

Les cnidaires sont à 99% marins, 1% d'eau douce (cnidaire = radiata). Il existe une **symétrie radiaire**, plusieurs tentacules entourent la bouche. Ces animaux ont une cavité gastro-vasculaire interne avec un seul orifice (la bouche).

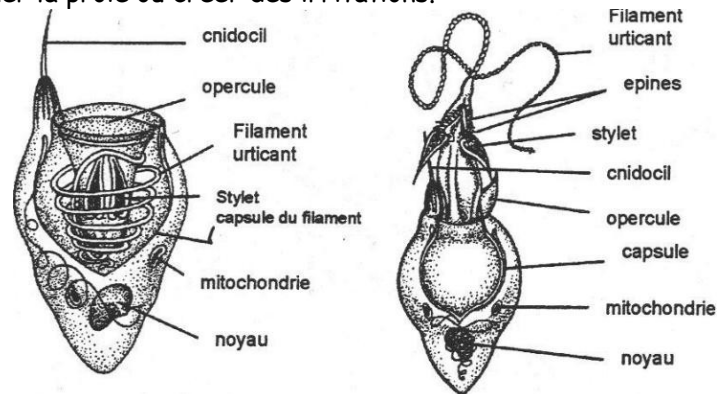
Deux formes peuvent alterner pour la même espèce :

- La forme méduse : elle est **libre, pélagique** et constitue (généralement) la **forme sexuée**.
- La forme polype : elle est **benthique, fixée**. C'est une **forme asexuée** (généralement).

Les polypes peuvent être solitaires ou coloniaux et acquérir alors, un polymorphisme des individus : c'est une variation morphologique intraspécifique liée à la spécialisation des individus.

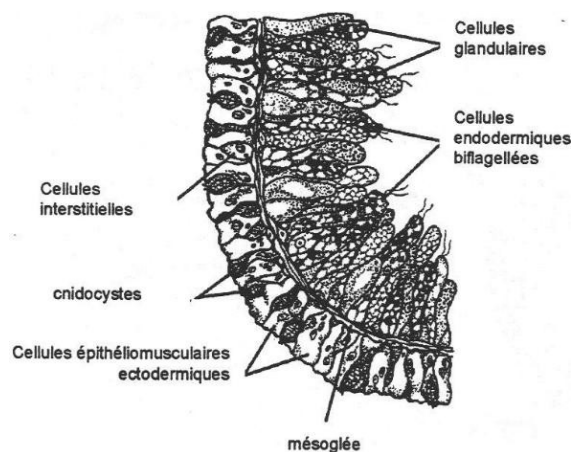
On note la présence de cellules urticantes : les **cnidocytes** (ou **cnidoblastes**, ou **nématoblastes**, ou **nématocystes**). Ces cellules contiennent un filament urticant baignant dans une toxine (l'actino-congestine).

Les cnidoblastes ont un **cnidocil** qui, lorsqu'il est excité, entraîne la dévagination du fil urticant qui peut tuer la proie ou créer des irritations.



CNIDOCYTE - avant et après la décharge

La paroi possède une structure diploblastique. Ectoderme et endoderme sont séparés par la **mésoglée**.



PAROI DES CNIDAIRES

Au niveau de l'ectoderme, il y a un pavage de cellules épithélio-musculaires, des cnidoblastes et quelques cellules interstitielles totipotentes.

L'endoderme est constitué de **cellules biflagellées à rôle phagocytaire** et de **cellules glandulaires** sécrétant les enzymes digestifs (la digestion se déroule en deux temps). Il n'y a pas fabrication d'organe au sens strict.

La reproduction sexuée produit un œuf, puis, à l'éclosion, on obtient une *larve ciliée nageuse (planula)* à polarisation antéro-postérieure (avec donc, une **symétrie bilatérale**). La symétrie radiaire est la conséquence de la fixation et de la métamorphose de la planula.

Il existe trois classes de cnidaires : les **anthozoaires**, les **hydrozoaires** et les **scyphozoaires**.

A\ Les Anthozoaires.

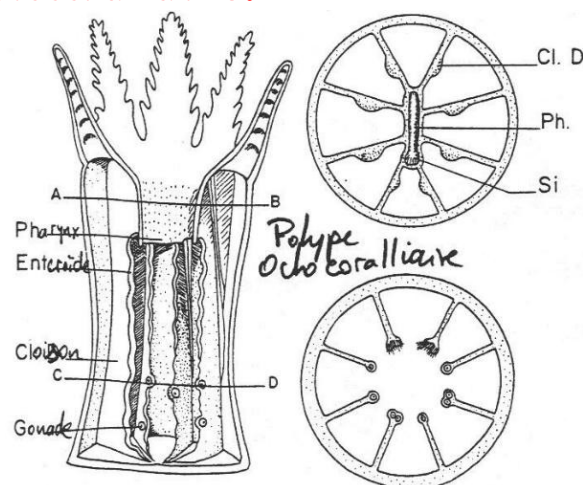
Seule la forme polype persiste : l'organisation du polype se complique donc. Il existe une symétrie bilatérale déterminée par une invagination ectodermique qui forme le **pharynx** (ou **stomodeum**). Le pharynx est aplati latéralement.

La cavité gastrale voit l'ectoderme former des replis qui déterminent des cloisons. Dans la région antérieure, ces cloisons se soudent au pharynx : on a alors des loges. Il y a autant de tentacules que de loges.

On distingue deux groupes :

- Les **octocoralliaires** : ils ont 8 tentacules, 8 loges et 8 cloisons.
- Les **hexacoralliaires** : ils ont $n \times 6$ tentacules, $n \times 6$ tentacules et $n \times 6$ cloisons.

1\ Les octocoralliaires.



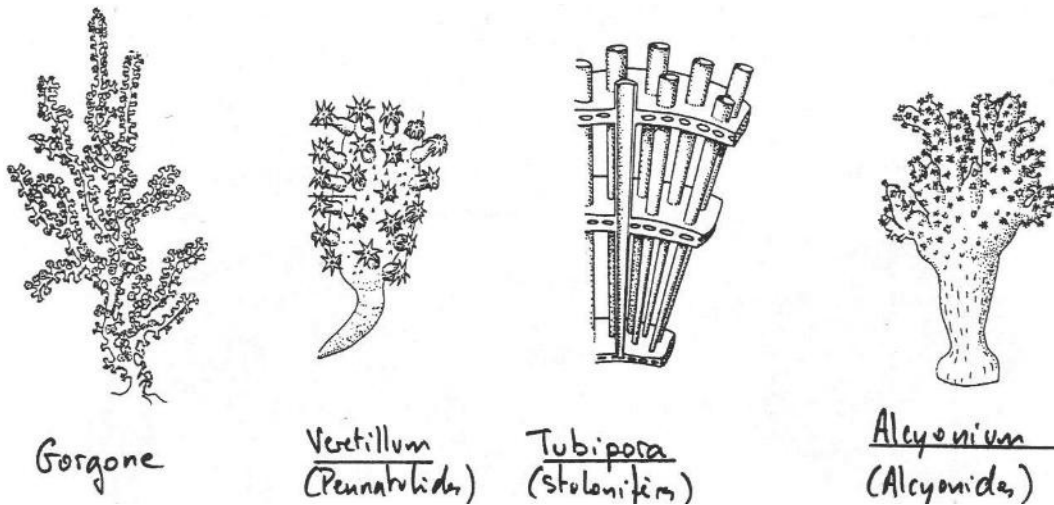
Chaque tentacule porte deux rangées de pinnules et est munie de cnidoblastes.

Le pharynx a une section plus ou moins ovale et est muni, à une extrémité, d'une gouttière ciliée : le **siphonoglyphe**. Le battement des cils permet la progression des particules alimentaires vers la cavité gastrale. Cette dernière possède 8 cloisons à disposition radiaire.

Les **octocoralliaires** sont **tous coloniaux** et les individus de la colonie sont tous semblables. Ils sont tous issus d'un **même polype souche**, lui-même issu de la fixation de la planula. La formation de la colonie est réalisée par **bourgeonnement**.

Les différents polypes sont unis par des évaginations tubulaires (les **stolons**). Ce sont sur ces stolons que bourgeonnent les nouveaux individus. → Les colonies seraient peu importantes s'il

n'y avait pas de squelette. → Le système de construction du squelette permet de différencier les différentes formes d'octocoralliaires.



α\ Les Alcyonides.

Dans la mésoglée, les **scléroblastes** forment des spicules creux qui s'enchevêtrent pour former une **structure solide**. Le squelette est peu dur et la colonie a un **aspect digité**. Les polypes sont reliés par des *tubes endodermiques*.

β\ Les Stolonifères (*Tubipora* = « orgue de mer »).

Les stolons ont une **disposition très régulière** et le squelette est constitué de spicules dans la mésoglée. Ces **spicules ont une disposition très cohérente**.

δ\ Les Gorgonides.

La colonie a un **aspect arborescent** ou en **éventail**. Elle est soutenue par un squelette externe corné pouvant être imprégné de sels calcaires.

ε\ Les Coralides (ex : le corail).

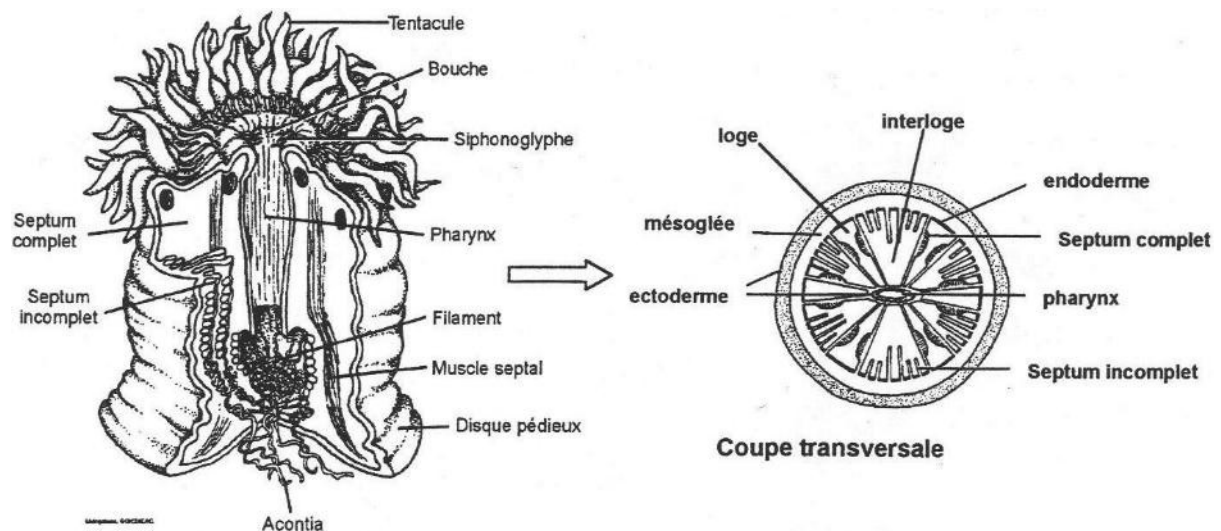
Les tubes endodermiques se ramifient dans la colonie et le **squelette est calcaire**, très dur et externe. Actuellement, les Gorgonides et les Coralides sont parfois regroupés ensemble, on parle uniquement de Coralides.

φ\ Les Pennatulidés.

La colonie se développe sur un axe (ou rachis), enfoncé dans le sable par sa base. Il se couvre de polypes. Le squelette est formé de **spicules mésogléens**.

2\ Les Hexacoralliaires.

Les hexacoralliaires ont un système radiaire d'ordre 6. Leurs tentacules sont **sans pinnule** et les polypes peuvent être solitaires ou coloniaux. Lorsqu'ils sont coloniaux, ils forment des **supports immenses : les récifs**.



Hexacoralliaires - anatomie d'une anémone

Les hexacoralliaires n'ont jamais de scléroblaste mésogléen ; par contre, ils possèdent des **calciblastes** situés à la base de l'ectoderme (position basale).

Il existe deux types morphologique : les **Actiniaires** (mous) et les **Sclératinides** (formant les récifs).

α\ Les Actiniaires.

Ces sont les *anémones de mer*, avec un **polype solitaire et géant**. Les diverses loges communiquent entre elles par des ostioles. Les Actiniaires ont aussi de longs filaments branchés sur l'endoderme (les aconties). Ces aconties sortent des orifices de la paroi (les cinclides) et sont garnies de cnidoblastes.

Les **gonades apparaissent périodiquement**.

La **planula** tombe sur le fond et donne un *petit polype qui grossit par développement de la structure des cloisons*.

Le jeune polype possède **12 cloisons macrentériques** (principales) qui déterminent des loges puis des interloges. Au niveau des interloges se forment des **cloisons micrentériques** (ce sont des loges incomplètes).

Avec le temps, le nombre de tentacules s'accroît.

Les modes de vie sont très variés chez les Actiniaires :

- *Anémones pivotantes* : fouisseuses dans le sable.
- *Anémones flottantes* : piègent l'air dans un repli de leur base et flottent à l'envers.
- *Anémones benthiques fixées*.
- *Anémones en association avec des pagures* : elles sont fixées sur la coquille voir même sur les pinces. Elles bénéficient des restes des proies du pagure mais elles lui servent pour tuer les proies.

En dehors de la reproduction sexuée, il y a possibilité de **scissiparité** par découpage longitudinal ou latitudinal.

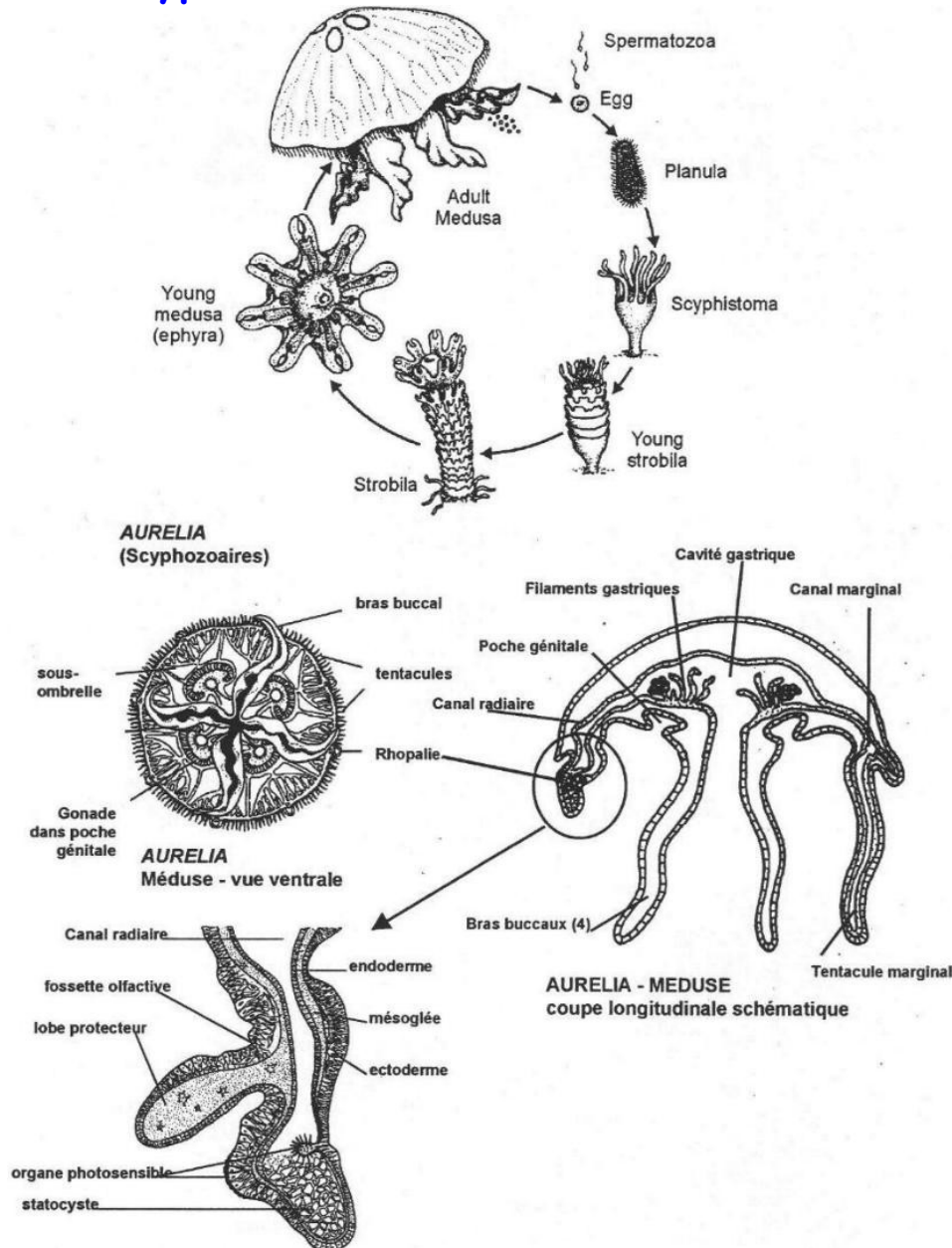
β\ Les Madréporaires.

Les madréporaires sont dans les eaux riches en calcaires, bien aérées avec une température supérieure à 20°C.

A la base du polype apparaissent des lignées radiaires de calcoblastes : ils forment dans un premier temps une base homogène (plaque). Dans un second temps, ils sécrètent des lignées radiaires qui donnent des axes rayonnés.

Si les polypes sont accolés, il se forme un **ensemble massif** (genre *Astrea*). S'ils s'alignent et fusionnent partiellement, c'est le genre *Meandrina*.

B\ Les Scyphozoaires.



Détail d'une rhopalie (Scyphozoaires)

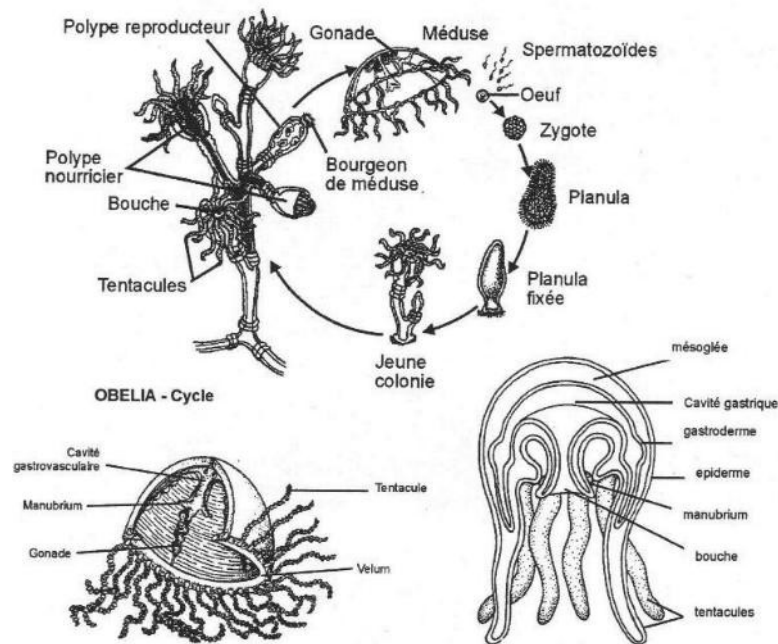
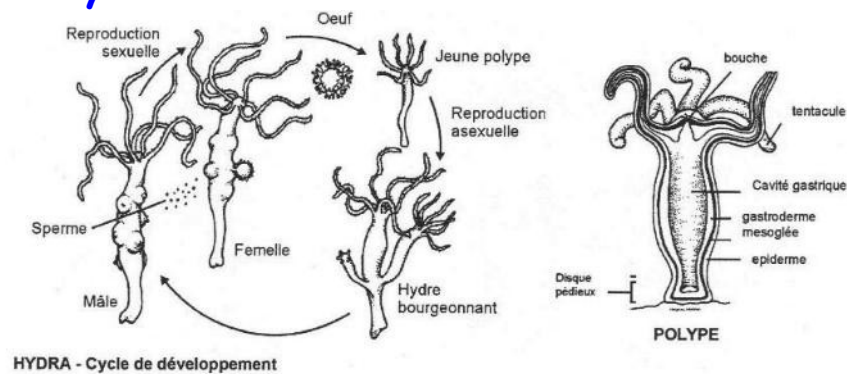
Dans cette classe, il y a simplification du polype : il **devient une phase larvaire**. Il est suivi de l'apparition de la méduse qui formera les gamètes. Le cycle typique est celui d'*Aurélia*.

La planula est typique, à deux feuillet. Elle tombe sur le fond, se fixe par la région antérieure pour se transformer en un *petit polype scyphostome* (jeune polype). Ce polype possède un orifice buccal. Il acquiert ensuite 4 tentacules puis 8. Il mesure quelques millimètres.

La bouche se situe à l'extrémité d'une **petite trompe** : le **probocis**. La cavité gastrale est cloisonnée et possède quatre loges. Ce polype subit la **multiplication asexuée par strobilisation** :

il subit une série de **constrictions transversales** pour prendre l'aspect d'assiettes empilées. Chacune de ces « assiettes » se détache et se retourne pour donner une jeune méduse (**méduse éphira**). Sa croissance donnera la méduse adulte qui possède une série de tentacules courts, périphériques (formant des franges) et quatre bras buccaux. On trouve quatre **4 massifs gonadiques** et des zones sensorielles périphériques : les **rhopalies**. Ces dernières possèdent des organes photosensibles (**ocelles**), le statocyste qui détecte la gravité (pour l'équilibration). La rhopalie est protégée par un lobe qui forme une sorte de bouclier. La cavité sous-ombrelle est complètement ouverte (*pas de vélum*) : méduses **acraspèdes** ou méduses **acraspédotes**. Cette cavité est capable de contraction mais le déplacement sur de longues distances reste passif.

C\ Les Hydrozoaires.



Méduse d'Hydrozoaire typique

On distingue divers groupes comme les **Hydrides** et les **Leptolides**. Les individus de ces deux groupes sont **dépourvus de pharynx** et la bouche s'ouvre directement à la surface du corps dans la cavité gastrale. Dans le cycle vital, il y a alternance des deux phases : polypes et méduses, sauf chez les **Hydrides** où la **méduse disparaît** et le polype est alors capable de reproduction sexuée et asexuée.

1\ Les Hydrides.

On distingue des polypes mâles et femelles qui donnent des gamètes qui, par fécondation, donnent un œuf qui va tomber et donner un jeune polype (capable de multiplication asexuée par bourgeonnement) **sans passage par le stade planula.**

2\ Les Leptolides.

Chez les Leptolides se développent des structures coloniales ; le stolon de bourgeonnement est appelé **hydrorhize** ; la base du polype est l'**hydrocaule** ($\approx$ la tige) ; chaque polype est un **hydrante**. L'ensemble de ces formations charnues compose le **caenosarc**. Ce dernier est protégé par une enveloppe d'origine ectodermique (le **périsarc**). Autour de chaque polype se forme une enveloppe protectrice (l'**hydrothèque**).

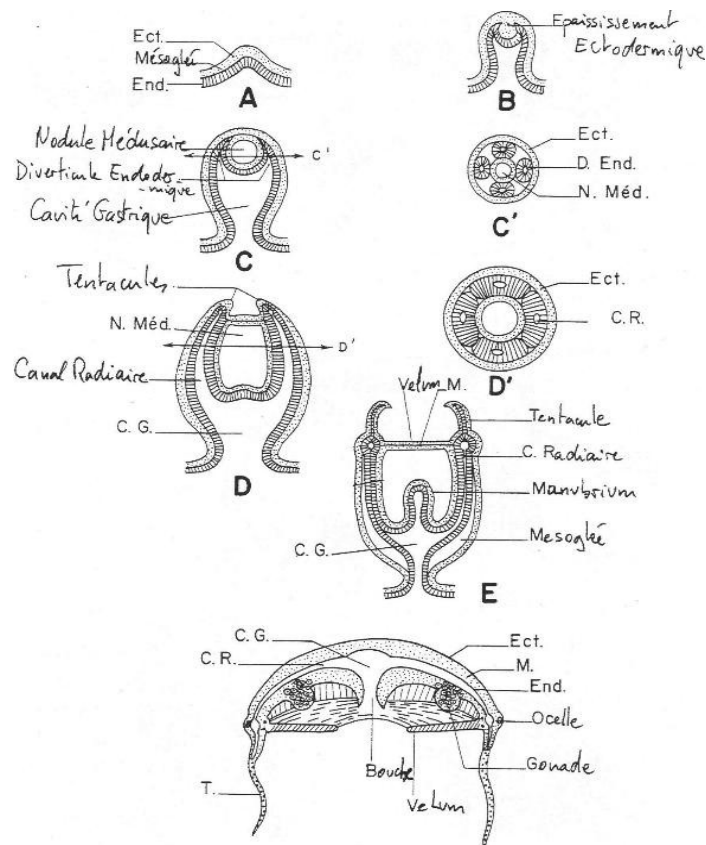
Dans le groupe des **Calyptriblastides**, l'hydrothèque enveloppe tout le polype alors que dans le groupe des **Gymnoblastides**, l'hydrothèque n'enveloppe que la base du polype.

Le polymorphisme permet de distinguer :

- Des **gastrozoïtes** (polypes nutritifs) qui ont une bouche et une couronne de tentacules.
- Des **dactylozoïtes** (polype défensif) riches en cnidoblastes, sans bouche ni tentacule.
- Des **gonozoïtes** qui réalisent le bourgeonnement des méduses. L'axe de bourgeonnement est le **blastostyle**.

Les méduses portent les gonades qui donneront les gamètes qui, par fécondation, donnent un œuf qui donne une planula qui va tomber sur le fond et former une colonie à partir du premier polype.

3\ La formation des méduses.



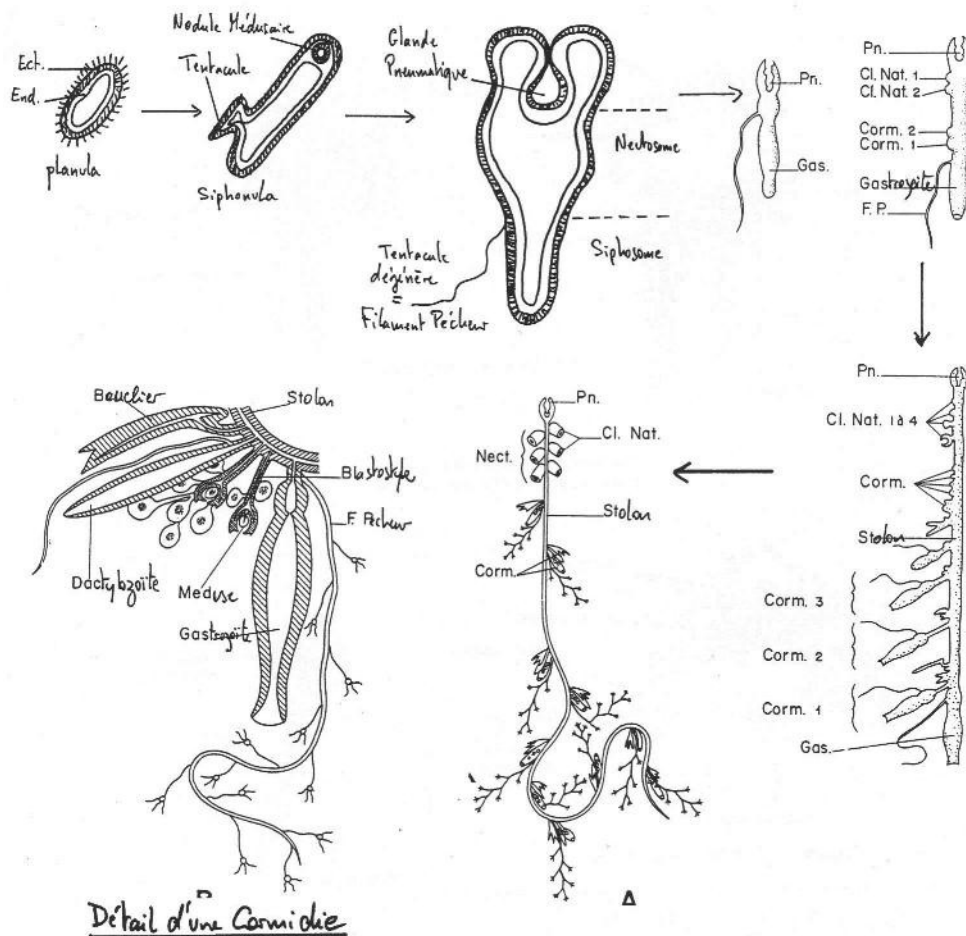
Cycle évolutif d'*Obelia geniculata*, Stades successifs du bourgeonnement médusaire.

- A\ Il y a formation de protubérances à la surface des **blastostyles** (= **bourgeons médusaires**), délimitées par les deux feuillets.
- B\ Il y a formation d'un **nodule médusaire** qui s'isole de l'ectoderme périphérique. Le nodule va se creuser d'une cavité.
- C+C'\ Il comprend l'ébauche de la cavité sous-ombrelle et celle des tentacules.
- D\ La lame didermique forme le vélum et une saillie axiale de la cavité va former le **manubrium** qui se perce de la bouche.
- E\ Le pédoncule de fixation s'étire et se rompt : c'est la libération de la méduse. Quand elle est détachée, elle réalisera la dissémination des gamètes. Toutes les méduses issues d'une même colonie ont le même sexe.

La multiplication asexuée peut atteindre la méduse :

- par **scissiparité** dans l'axe du manubrium ;
- par des **bourgeonnements** au niveau du manubrium.

4\ Les Siphonophores.



Développement des Siphonophores

Les Siphonophores sont des animaux **pélagiques** où la colonie est constituée d'une **association de plusieurs unités** (→ **cormidies**). La cormidie est formée d'une association de polype polymorphiques

Cette colonie se développe à partir de la planula. Cette dernière ne se fixe pas : à son pôle antérieur se forme un nodule médusaire qui va constituer le **pneumatophore** (cavité sécrétant un gaz riche en azote, oxygène et argon) qui a un rôle de flotteur.

La région postérieure s'allonge et forme un filament pêcheur et le tout premier gastrozoïte : c'est la larve **siphonula**.

Entre le premier gastrozoïte et le pneumatophore, on trouve une zone de croissance (le **nectosome**) qui permet la formation des cormidies.

La région antérieure du nectosome forme d'abord plusieurs bourgeons qui se différencient en **cloches natatoires**. Dans la région inférieure, les cormidies successives apparaissent.

Une cormidie comprend des gastrozoïtes, des dactylozoïtes (rôle défenseur, avec un palpe allongé), un filament pêcheur riche en cnidoblastes, des gonozoïtes mais aussi des individus médusoïdes, capables de se différencier en n'importe quel type polypier.

L'ensemble de la colonie est protégé par un bouclier. → Exemple : **Halistemma**.

Il existe d'autres types morphologiques :

- Les Anectes (Chryslia) : le pneumatophore forme un flotteur très développé muni d'une carène. Les **cormidies** sont **directement fixées au flotteur** et ne sont pas protégées par un bouclier.
- Les Chondrophorides (Vellela) : Ils utilisent le polymorphisme comme des organes : on trouve un seul gastrozoïte central entouré par une zone concentrique de

gonozoïtes, eux-mêmes entourés de dactylozoïtes. Le flotteur est divisé en cloisons remplies d'air. La zone de mésoglée est riche en réserves (→ le « foie »). La partie supérieure forme une voile qui permet de dériver avec le vent.

III\ Les cténaires (= les Cténophores).

Les cténaires sont marins et n'ont aucun lien phylétique avec les cnidaires. Ils sont pélagiques et carnivores.

On trouve un type morphologique par espèce. Ils ont une **double symétrie bilatérale** : un *plan tentaculaire* et un *plan pharyngien* (le deux sont perpendiculaires).

L'organisme type est le **cydippe** (son diamètre est compris entre 1,5 et 15 millimètres). Le pôle oral porte la bouche. Le pôle aboral porte un statocyste (organe d'équilibration).

Ces cténaires ont également deux tentacules (qu peuvent atteindre 15 centimètres). Ces derniers peuvent se rétracter dans des poches tentaculaires. A la surface du corps, on distingue huit rangées de palettes vibratiles (peignes ou cténidies). Leurs battements permettent le déplacement de l'animal.

Les tentacules portent des cellules particulières : les **colloblastes**, qui sont constitués d'une masse de granules adhésifs et d'un prolongement cytoplasmique qui forme le filament spiralé. Le noyau, rectiligne, forme un filament droit. Quand cette cellule est excitée, elle sort de l'ectoderme où elle reste accrochée par le filament spiralé et se sert des granules adhésifs pour attraper la proie.

Il existe deux autres formes anatomiques :

- Les **Tentaculés** (*Cestus*) : ce sont des cténaires **dilatés latéralement** dans le plan tentaculaire.
- Les **Atentaculés** (*Beroe*) : ils sont **en forme de cloche** avec une **dilatation du pharynx**.

Biologie Animale

Chapitre 3 :

Les Métazoaires Triploblastiques

Acœlomates et Pseudo-cœlomates.

Chez les métazoaires triploblastiques, il y a **apparition du mésoderme** (troisième feuillet embryonnaire) qui dérive de l'endoderme pendant le développement embryonnaire. L'ectoderme et l'endoderme ont des fonctions bien définies ; le mésoderme permet la **différenciation d'organes internes** (appareil excréteur, organes génitaux) dont la musculature qui permettra des mouvements orientés (locomotion). Il apparaît le déplacement dans une direction donnée : les animaux ont maintenant un avant et un arrière.

- Apparition de la symétrie bilatérale.

La *symétrie bilatérale* remplace la *symétrie radiaire* des cnidaires ; l'animal a donc une région antérieure, une postérieure et une orientation dorso-ventrale. Cette symétrie existe à l'état embryonnaire mais **peut disparaître chez l'adulte** comme chez les *oursins* (**pentaradiés**) ou chez les *gastéropodes*.

Cette symétrie bilatérale est un des principaux facteurs qui vont infléchir le cours de l'évolution animale.

Le déplacement se fait tête vers l'avant.

- La céphalisation.

La céphalisation est un développement des appareils sensoriels et du système nerveux → elle favorise la coordination des mouvements. Les **organes sensoriels se regroupent dans la région antérieure**, au voisinage d'un système nerveux principal (encéphale) → C'est le développement de la tête s'il y a un « cerveau », des organes sensoriels et d'une bouche.

Chez les triploblastiques, il existe deux groupes : les **acœlomates** et les **cœlomates**. Ces groupes sont différenciés par la structure du mésoderme :

- Si le **mésoderme donne un tissu épais**, on se trouve chez les **acœlomates**.
- Si le **mésoderme donne un tissu creux** favorisant l'apparition de vésicules cœlomiques, on se trouve chez les **cœlomates**.

I\ Les Acœlomates.

Le mésoderme vient remplir les espaces entre les organes : c'est un **parenchyme**.

A\ Les Plathelminthes.

Les plathelminthes sont les **triploblastiques les plus primitifs**. Ils présentent un **aplatissement dorso-ventral** avec, évidemment, l'existence des faces dorsale et ventrale. Le corps est organisé en **deux territoires** différents :

- La **région céphalique**, antérieure (fonctions sensorielles).
- La **région postérieure**, caudale.

Il n'y a *pas d'appareil circulatoire* vrai : donc, **pas de sang**. Il existe toutefois un liquide présent dans l'espace du parenchyme (**l'hémolymphe**).

L'appareil respiratoire est absent : les échanges gazeux s'effectuent à travers le tégument de l'animal, ou bien, comme chez les parasites, il n'y aura pas d'échange gazeux.

L'appareil digestif est soit incomplet, soit absent. S'il est incomplet, c'est qu'il lui manque l'anus → « *appareil en cul de sac* ». S'il est absent, les échanges seront possibles par échanges osmotiques (pour les parasites).

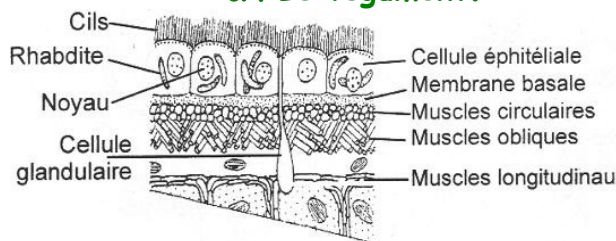
Les plathelminthes comprennent environ 50 000 espèces et peuvent être libres ou parasites. Il existe six classes mais nous n'en verrons que 4 ici : **Turbellariés** (*planaires*), **Trématodes** (*douves*), **Cestodes** (*ténia*) et **Monogènes** (*polystomiens*).

1\ Les Turbellariés.

Les turbellariés sont **essentiellement aquatiques** (eau douce / marin) avec quelques formes terrestres (dans les forêts tropicales humides). Leur taille est souvent inférieure à 2 centimètres et peuvent exceptionnellement atteindre 60 centimètres.

Ils sont **libres et non segmentés**. Ils présentent une région antérieure avec deux **yeux** (ou plus) et des **auricules**. Ils ont une région spécialisée au moment de la reproduction.

α\ Le tégument.



L'épithélium des turbellariés est **cilié, épidermique**. Le battement des cils sur l'épithélium permet la locomotion. Sous cet épithélium, on trouve une membrane basale puis différentes couches musculaires (circulaire, oblique, longitudinale).

C. Tégument Turbellarié

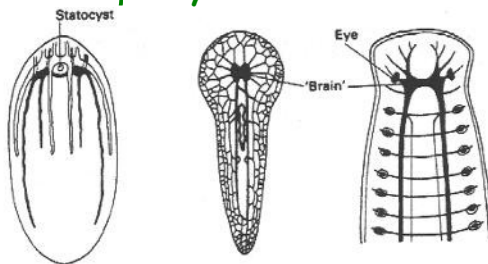
Entre les couches musculaires, on distingue des cellules glandulaires qui peuvent émettre des digitations vers l'épithélium. Au niveau de la membrane basale, on a localement des cellules sensorielles.

Les cellules épithéliales ont un petit corpuscule (rhabdite) à rôle encore inconnu. Elles produisent un mucus à l'extérieur de l'animal pour enrober les corps étrangers.

Sous les couches musculaires, on a deux types cellulaires :

- Des **cellules amiboïdes** qui permettent les *échanges respiratoires et nutritionnels*.
- Des **cellules étoilées** qui baignent dans l'hémolymphe.

β\ Système nerveux et organes sensoriels.



S.N. Turbellariés
(O. Acèles - O. Polyclades - O. Tricladés)

Les turbellariés sont les premiers animaux à posséder un **système nerveux central bien défini**. Ce système nerveux central comprend **deux ganglions cérébroïdes** réunis par une **commissure** du même nom. De ces ganglions partent les **cordons nerveux latéraux** (longitudinaux) et de **nombreuses commissures transversales**.

Des **nerfs sensitifs** partent aussi en direction des yeux et des auricules.

Au niveau des **yeux** est présent un **tégument transparent** qui permet l'entrée de la lumière. L'œil est composé d'une **cupule tapissée de cellules pigmentées**. Cette cupule concentre la lumière vers les cellules rétiniennes. → L'œil a une **disposition inversée**.

Les auricules ont un rôle tactile et parfois de préhension.

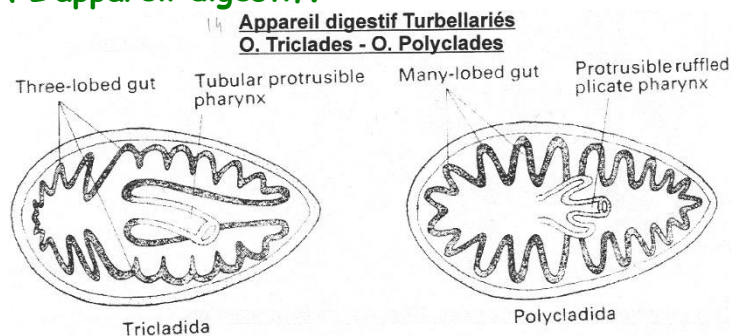
Il existe cinq récepteurs :

- Les **tangorécepteurs** : ils ont un *rôle tactile* lors des contacts avec des surfaces solides.
- Les **rhéorécepteurs** : ce sont des cellules sensorielles *appréciant les courants*.
- Les **chémorécepteurs** : ils *détectent les composés chimiques*.
- Les **statorécepteurs** : ils ont un rôle dans *l'équilibration*.
- Les **photorécepteurs** : ils sont *sensibles à la lumière*.

→ On ne trouve jamais les cinq types d'organes sensoriels à la fois dans le même animal.

Exemple de statorécepteurs : les **statocystes**. Ils ont la forme d'une vésicule avec un **statolithe** et autour, une cellule spécialisée : un **lithocyste**.

δ\ L'appareil digestif.



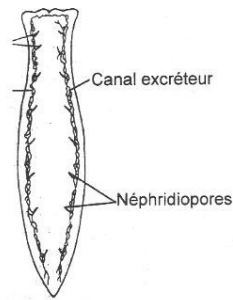
Un **orifice** (bouche) s'ouvre dans le 1/3 postérieur de l'animal. Cette bouche est suivie d'un **pharynx d'origine ectodermique** ; il est *muscleux et peut être dévaginable*. Après le pharynx, on a l'**intestin**, très volumineux, *pouvant être ramifié*.

Il existe trois types de pharynx :

- Le pharynx simple : il est formé par une **invagination de l'ectoderme** (à épithélium cilié) avec une *fine paroi musculaire*.
- Le pharynx bulbeux : il est toujours avec un **épithélium cilié** mais la *musculature est plus développée* que précédemment (pour la mastication).
- Le pharynx plissé : il est en forme de **trompe dévaginable et rétractable**, ce qui permet la capture de proies ou la succion de grosses proies.

Le rejet des excréments est précédé d'une entrée d'eau qui va être fortement expulsée alors qu'elle est chargée en excréments.

ε\ L'appareil excréteur



Les turbellariés sont les premiers animaux à posséder un **appareil excréteur** quoi que **rudimentaire**. Il est composé de **deux canaux collecteurs latéraux longitudinaux**. Ils collectent un *réseau canaliculaire dense* dans tout l'animal.

Appareil excréteur Turbellariés

A l'extrémité de toutes les canalicules, on trouve une **cellule excrétrice rudimentaire** : **protonéphridie**, d'origine ectodermique. Ce type de cellule est aussi appelé « **cellules à flamme** ». Elles sont ciliées et c'est le battement de leurs cils qui pousse les déchets venant de l'hémolymphe dans des canaux collecteurs en direction des **néphridiopores**.

Cet appareil excréteur sert aussi à sortir l'eau du corps pour **maintenir l'équilibre osmotique**. Tout cela est vrai pour les formes d'eau douce qui ont un grand besoin de régulation osmotique. Ce n'est pas vrai pour les formes marines.

Le nombre de néphridiopores est différent selon le groupe de turbellariés (1, 2 ou plus).

φ\ L'appareil reproducteur et le développement.

Les turbellariés sont **hermaphrodites**.

L'appareil sexuel mâle est composé de **testicules fragmentés en follicules testiculaires** drainés par **deux spermiductes** (ou canaux déférents) qui s'élargissent pour former les **vésicules séminales à fonction de stockage des produits génitaux**.

Ces deux vésicules confluent pour former un **pénis tubulaire et musculéux**. Ce dernier débouche dans l'**atrium génital**, commun aux deux sexes.

L'appareil sexuel femelle est constitué par **deux ovaires en position antérieure**, drainés par des **oviductes** (ou vitellogènes) où l'on trouve de nombreuses *glandes vitellogènes* qui produisent les cellules vitellines, cellules nourricières pour l'œuf.

Lors de la reproduction, les gamètes mâles et femelles confluent vers l'atrium génital où il existe un **réceptacle séminal** (ou « *bourse copulatrice* ») qui favorise le mélange des gamètes. Toutefois, il n'y a **pas d'autofécondation** car ce sont des hermaphrodites **protandres** (la maturité sexuelle mâle arrive avant la maturité sexuelle femelle).

Les œufs se retrouvent dans des **cocons**, par groupe de 4 à 6 où l'on trouve de nombreuses cellules vitellines.

La **segmentation de l'embryon est de type spirale**. Le **développement est direct**, sans stade intermédiaire larvaire.

γ\ La multiplication asexuée.

La multiplication asexuée peut se faire selon deux modalités :

- Par **architomie** : il y a **division** d'un individu en deux puis **régénération** des parties manquantes.
- Par **paratomie** : il y a d'abord **régénération** puis **division**.

C'est l'architomie qui est la plus souvent rencontrée. Les capacités à régénérer les parties manquantes s'observent chez certains groupes comme dans le cas d'un découpage transversal. Un découpage longitudinal donnera un individu avec deux régions antérieures.

1\ Systématique.

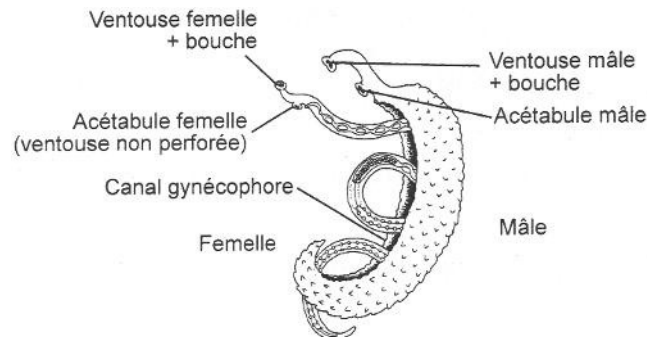
La **systématique** est basée sur la **forme** et sur la **structure de l'appareil digestif**. On distingue :

- L'ordre des Acèles (ou Acœles) : *l'appareil digestif est réduit*. On y trouve la **bouche** ainsi qu'une **petite cavité buccale** (il n'y a ni pharynx, ni intestin). Les formes de cet ordre sont *essentiellement marines*.
- L'ordre des Rhabdocèles : ils ont une **bouche**, un **pharynx** et un **intestin rectiligne** simple.
- L'ordre des Polyclades : *L'intestin est très développé et ramifié*. Les ramifications sont rayonnantes par rapport au centre de l'animal.
- L'ordre des Triclades : *L'intestin est formé de trois branches (une antérieure et deux postérieures)*. De plus, chacune des branches est diverticulée.

Chez les triclades, on trouve les planaires au sens strict. On pourra distinguer trois sous-ordres en fonction de l'écologie des espèces :

- Les **Terricoles** sont terrestres.
- Les **Maricoles** sont marins.
- Les **Paludicoles** sont d'eau douce.

2\ Les Trématodes.



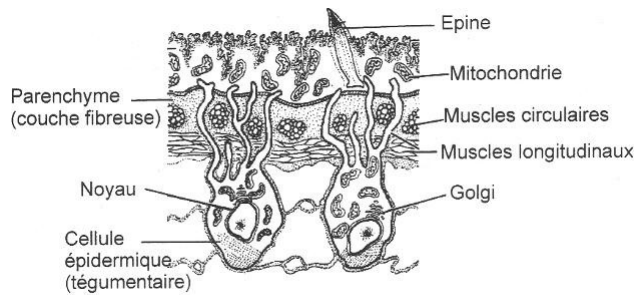
Les **trématodes** sont des **parasites internes de vertébrés**. Leur cycle fait intervenir deux ou plusieurs hôtes : **ce sont des hétéroxènes**. Ils ressemblent aux turbellariés. Les grandes différences sont dues au parasitisme :

- Il y a **perte de la ciliature de l'épithélium** (pas de déplacement).
- Il y a **régression des organes des sens** (en relation avec la perte de la locomotion) → On va parler d'une « **évolution régressive** » observée chez les trématodes.
- Il y a **développement d'organes de fixation** qui sont souvent une **ventouse buccale antérieure** et une **ventouse ventrale** ou « **acétabulum** ».

Les animaux à deux ventouses sont appelés « **distomiens** ».

Le **développement est indirect** avec de *nombreuses formes larvaires asexuées* → il y a un **développement emboîté** chez les trématodes.

α\ Le tégument.



Coupe du tégument d'un Trématode

Le tégument des trématodes ressemble à celui des turbellariés. Ce tégument est recouvert par une cuticule avec des écailles ou des épines.

La présence d'une cuticule a deux principales conséquences : le développement ciliaire est impossible sur l'épithélium ; la **croissance est alors discontinue** et est réalisée par **mues successives**.

La cuticule a une lame basale. En dessous, on trouve un parenchyme et différents faisceaux musculaires (circulaires et longitudinaux). Sous cet ensemble, on trouve des cellules épidermiques qui peuvent émettre des diverticules jusqu'à la cuticule. Les cellules épidermiques n'ont pas de membrane cellulaire : c'est un **tégument syncital**.

β\ Système nerveux.

Le **système nerveux est concentré en arrière de la ventouse buccale**. Sa structure est proche de celle des turbellariés, avec des **ganglions cérébroïdes reliés par une commissure**. Des terminaisons nerveuses partent vers l'avant et des cordons nerveux partent vers l'arrière.

Différence : il y a **absence d'organe des sens** car les trématodes sont des parasites. Il leur reste quelques cellules sensorielles spécialisées.

δ\ L'appareil digestif.

La **bouche est antérieure**, terminale ou sub-terminal et *s'ouvre au centre de la ventouse buccale*.

L'**intestin** est formé par **deux branches (cæcum digestif)**, très ramifiées où vient s'accumuler le sang ingéré.

Il n'y a **pas d'anus**.

ε\ L'appareil excréteur.

La **structure de l'appareil excréteur est identique à celle des turbellariés** (→ **protonéphridien**) avec un réseau caniculaire dense. Les canicules se réunissent en deux troncs principaux qui débouchent dans un *réservoir terminal* (« **vessie** ») qui s'ouvre à l'extérieur, par l'orifice excréteur (en position caudale).

φ\ L'appareil reproducteur.

Les trématodes sont **hermaphrodites**.

- L'appareil mâle :

Cet appareil est formé de **deux testicules** (ou follicules testiculaires) drainés par **deux spermiductes** qui convergent en une **vésicule séminale** de stockage. De cette vésicule se différencie un **pénis copulateur** qui fait saillie au niveau du **gonophore** (orifice mâle et femelle).

- L'appareil femelle :

L'appareil femelle est relativement complexe. Les fonctions **vitellogènes et gamétogènes sont dissociées dans l'espace**. Il gravite autour d'une chambre (l'**ootype**) où arrive l'oviducte, venant d'un ovaire ramifié. L'ootype reçoit un canal issu de la **fusion des deux vitellogènes** qui amènent les cellules vitellines venant des glandes vitellogènes (très ramifiées).

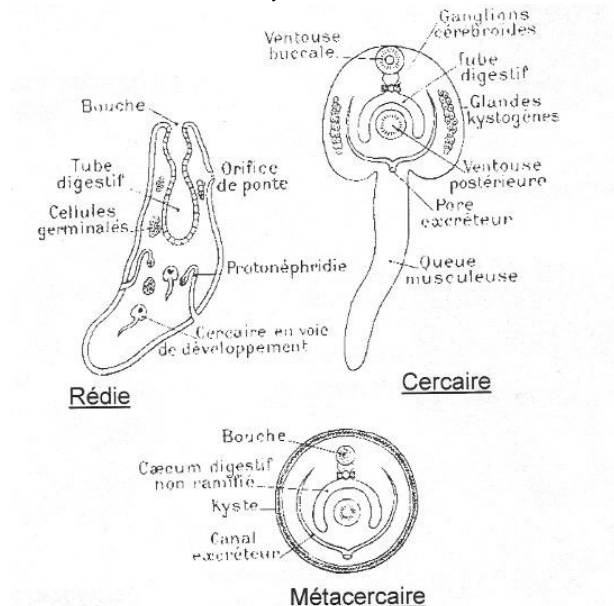
L'ootype reçoit aussi un **utérus large et sinueux** où les œufs commencent leur développement. Il y arrive en dernier un canal vertical (**canal de Laurer**) à fonction non définie.

La **fécondation se fait par accolement réciproque**.

L'**œuf fécondé** est entouré d'une **coque** et accompagné de nombreuses **cellules vitellines**. La reproduction s'effectue au niveau de l'hôte intermédiaire (pendant le cycle). Un œuf donnera alors de nombreux individus.

γ\ Le cycle parasitaire.

Ce cycle comporte de nombreux stades : on parle alors de « développement emboîté ». Les diverses formes larvaires viennent du cycle théorique des trématodes (plusieurs stades larvaires avant le stade adulte).



Les différents stades du cycle biologique des Trématodes

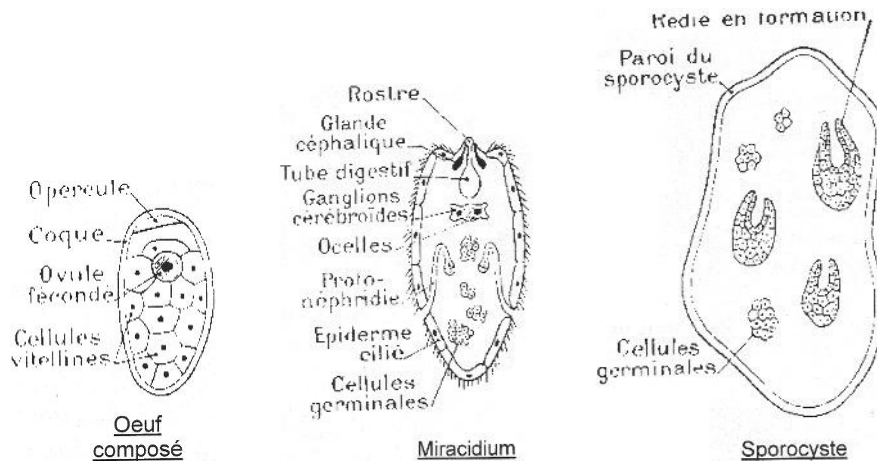
L'œuf a une **coque** qui possède un **opercule apical** (et des cellules vitellines). L'éclosion donne une petite larve ciliée (**larve miracidium**) avec un **cerveau rudimentaire** (glandes céphaliques), **deux protonéphridies** et un grand nombre d'**amas de cellules germinales**. C'est un **stade libre** qui peut infecter un animal (*mollusque*). Il y a alors **enkystement** dans la **glande digestive** du mollusque : on passe au **stade sporocyste**. Cette dernière forme a la forme d'un sac à paroi souple avec des amas de cellules germinales qui vont se multiplier et donner naissance à un **troisième stade larvaire** (la **rédié**). Un sporocyste contient de nombreuses **rédiés**. Ces rédiés ont deux devenir possibles :

- **donner des cercaires**, ce qui est le 4^{ème} stade larvaire,
- ou **donner des rédiés filles**, ce qui permet une multiplication du nombre de rédiés.

Le **stade cercaire** possède, comme l'adulte, **deux ventouses** (dont une antérieure buccale), un **cerveau rudimentaire** et un **appareil digestif à deux branches**.

A ce stade, il y a **sortie de l'hôte intermédiaire** puis **enkystement** qui donne la forme **métacercaire** : c'est le stade infectant de l'hôte définitif, qui donnera l'adulte.

Un œuf donnera de nombreux individus grâce aux diverses multiplications larvaires asexuées du cycle.



Exemple : la petite douve du foie.

Cette douve vit dans les **canaux biliaires du mouton**. L'adulte mesure environ 10 millimètres de long et 2 à 3 millimètres de large. Il existe **deux hôtes intermédiaires** :

- un **gastéropode terrestre** (*Hélix*)
- et une **fourmi** (*Formica*).

Les **œufs** sont **rejetés** avec les **excréments** du mouton, mangés par un **gastéropode** (avec une coquille blanche à bandes brunes). A l'automne, il y a **éclosion des œufs** (→ **larve miracidium** mobile). Ces larves se dirigent vers la glande digestive où elles **s'enkystent en sporocystes**. Ces derniers **donnent des cercaires** (il n'y a **pas de stade rédïe**). Les **cercaires** sortent du **gastéropode** pour être **avalés** par une **fourmi**. Il va y avoir **enkystement** dans la cavité générale des fourmis : c'est le **stade métacercaire**. Les fourmis vont alors avoir un **comportement parasité** et grimper sur des brins d'herbe pour être **avalées** par un mouton.

La petite douve peut infecter l'Homme par ingestion de foie de mouton mal cuit, mais c'est une infestation accidentelle.

Exemple : *Fasciola hepatica*.

L'adulte se trouve dans le **foie de mouton**. L'hôte intermédiaire est un **gastéropode** aquatique (*Limnée*) **infesté** par le stade **miracidium** (qui est libre et nageur dans le milieu aquatique).

La **larve miracidium**, par **enkystement en sporocyste**, donne des **rédies**. Selon les conditions de température, les rédies ont **deux devenir possibles** : si l'eau a une température supérieure à 25°C, elles redonnent des rédies (rédies filles) ; si la température est inférieure à 25°C, on passe au stade **cercaire**.

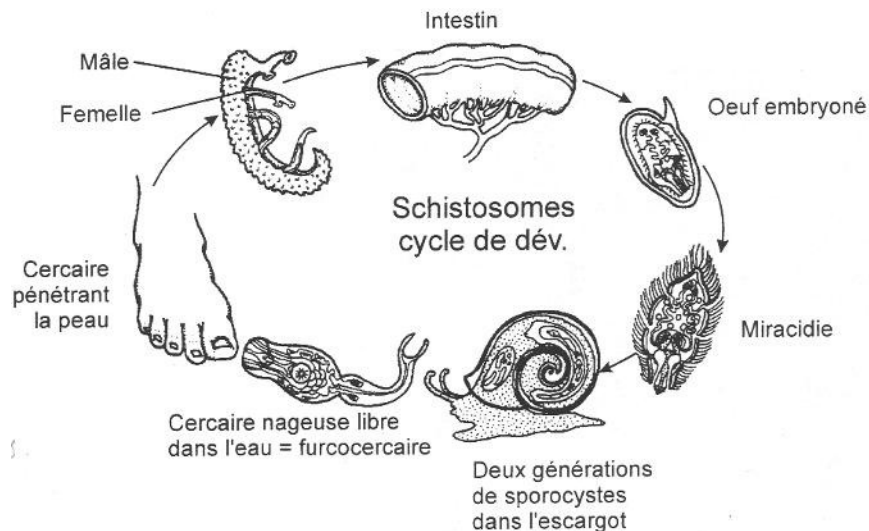
Le **stade cercaire** se fixe et **s'enkyste en métacercaire** sur les plantes aquatiques comme le cresson. Si l'Homme consomme des végétaux souillés, il peut être contaminé et être atteint de **distomatose**. Toutefois, l'Homme n'est pas indispensable au cycle de *Fasciola*.

Exemple : la douve pulmonaire.

Cette douve provoque des **bronchites sanglantes** ressemblant à la tuberculose ou à la pneumonie. Son cycle fait intervenir : l'Homme, un **mollusque** (*Melania*) et un **crabe** (*Potamon*).

Le **mollusque** est le lieu de développement de **stades larvaires**, jusqu'au **stade cercaire**. Le **crabe** permet le **passage du stade cercaire au stade métacercaire**.

Exemple : *Schistosome* (bilharziose).

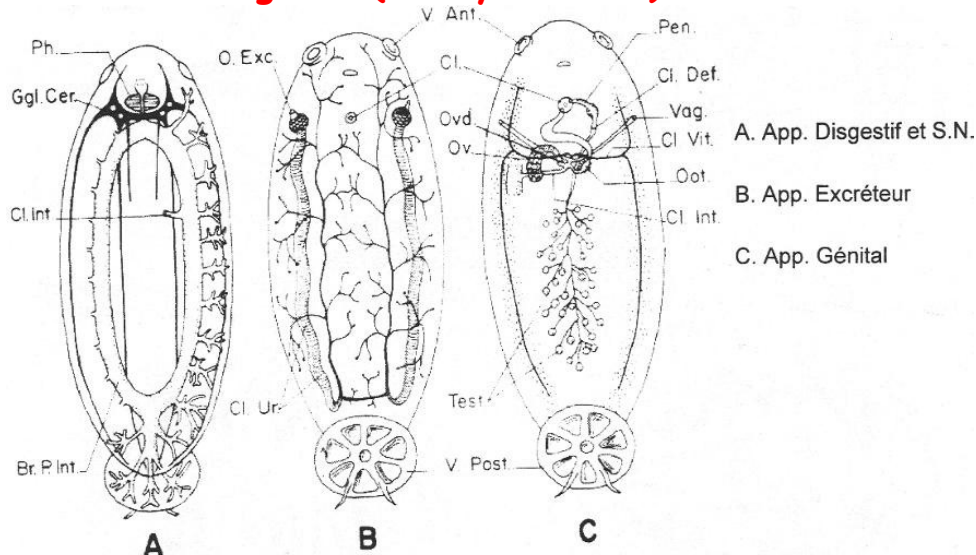


Ici, les **sexes sont séparés**. Les adultes vont dans le système veineux des mammifères. Il y a **dimorphisme sexuel important** : le mâle possède un **canal gynécophore**, une gouttière dans laquelle la femelle s'installe pendant l'accouplement.

L'hôte intermédiaire est un mollusque où la larve miracidium donne un sporocyste puis le **stade cercaire** (nageur) qui sera libéré. Les **furocercaires** vont contaminer l'Homme en pénétrant par la peau lors d'une baignade (15 minutes sont nécessaires pour qu'un furocercaire rentre complètement).

Dans ce cycle, il y a **absence des stades rédies et métacercaires** : c'est une *diminution des formes larvaires*. Le cycle devient plus rapide avec moins d'évènements hasardeux.

3\ Les Monogènes (= Polystomiens).



Organisation schématique des Trématodes Monogéniens

Les monogènes sont des **parasites monoxènes** et monogéniens (**une seule forme larvaire**). Selon les espèces, on peut avoir des **parasites externes** de poissons, de crustacés, de céphalopodes ou de batraciens. Généralement, ce sont des parasites provoquant **peu de dommages**. Ils sont surtout dangereux pour les élevages intensifs.

α\ Morphologie.

La **bouche est antérieure ou ventrale**. Il y a **plusieurs ventouses** : la ventouse antérieure est appelée « **cotylophore** » ; les autres ventouses sont **postérieures, accompagnées de crochets**.

On note la présence d'un **canal génito-intestinal** servant à évacuer le trop plein de cellules vitellines.

β\ Exemple : *Polystoma integerrinum*.

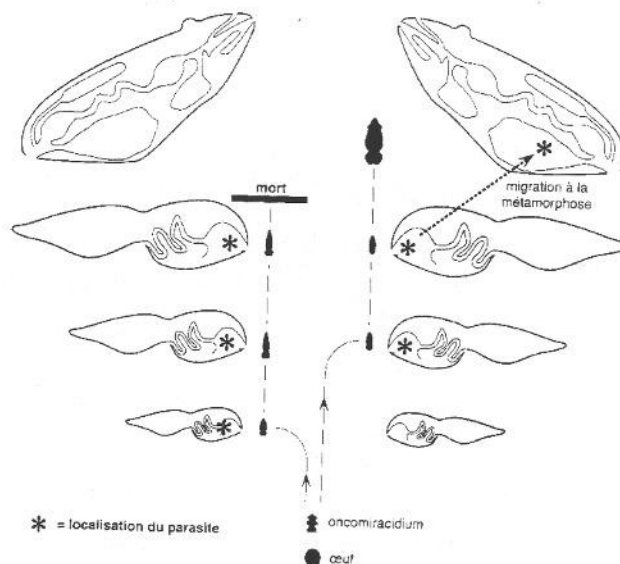
C'est un **parasite de la grenouille rousse** (*Rana temporaria*). Il y a un **synchronisme entre les cycles biologiques de ces deux espèces** (certaines phases du cycle sont conjointes). Au moment de la reproduction (ponte) de la grenouille, les *Polystoma* adultes pondent des œufs dans les urines (et sont évacués en milieu aquatique).

Ces **œufs** donnent une **larve ciliée nageuse** ; un **oncomiracidium** qui peut se fixer sur les têtards de grenouille rousse.

Si le **têtard a plus de 10 jours**, la larve gagne l'**appareil digestif du têtard**, et, la larve va **atteindre la vessie pour donner un adulte**. L'adulte est apte à se reproduire au bout de trois ans, comme les batraciens.

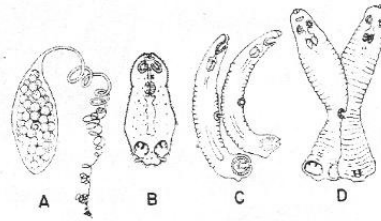
Si la **larve rencontre un têtard de moins de 7 à 10 jours**, la suite du cycle parasitaire ne peut avoir lieu : **pas d'infestation**.

Cycle de *Polystoma integerrinum*

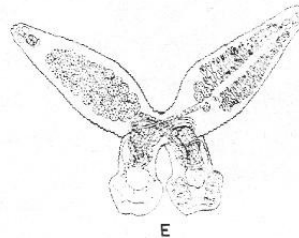


δ\ Exemple : *Diplozoon paradoxum*.

Différents stades de *Diplozoon paradoxum*



- A. Oeuf dans sa coque
- B. Larve ciliée à l'éclosion
- C. D. Stade Diporpa (accoupl.)
- E. Adultes accouplés



L'adulte se fixe **sur les branchies d'un poisson d'eau douce** (Cyprinidés). Le parasite présente une espèce constituée de la **fusion de deux individus** où chacun est incapable de survivre isolément.

Les larves sont aspirées par les poissons et se fixent sur les branchies. Elles y subissent une *métamorphose* qui différencie une **ventouse circulaire** dans la partie médiane ventrale (de la larve !) et un **petit bouton** sur la face dorsale, formé par un soulèvement de la cuticule. Ce sont des **larves diporpas** qui se nourrissent du sang du poisson pendant plusieurs semaines. La suite du développement se fait si deux larves entrent en contact l'une avec l'autre. L'accouplement se fait par la ventouse qui attrape le bouton, chez l'un comme chez l'autre.

Si l'accouplement se fait, il y a **fusion de ces larves** au niveau de leurs points d'attache → c'est une **anastomose entre les deux intestins** : la nourriture ingérée par l'un est alors utilisable par l'autre. Il y a aussi **fusion des conduits sexuels mâles et femelles**.

→ Les deux individus sont **définitivement accouplés**. La fusion met en connexion les canaux déférents de l'un avec le vagin de l'autre : c'est une **fécondation réciproque croisée**.

4\ Les Cestodes (classe).

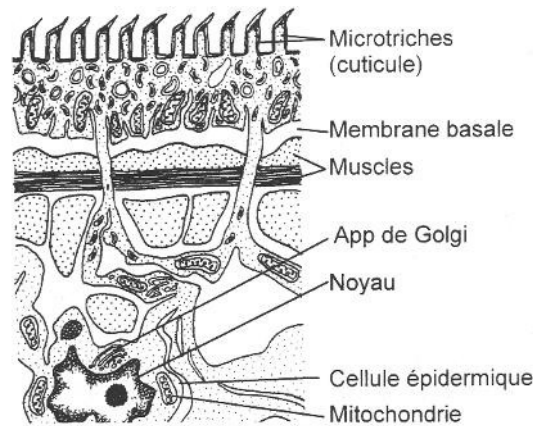
Les **cestodes** sont des **parasites du tube digestif de vertébrés supérieurs**. Leur corps est **aplati, segmenté**, plus ou moins **rubané**. Ce sont des animaux *généralement longs* : 12 à 20 centimètres pour les plus grands. Ils *n'ont ni tube digestif ni appareil respiratoire*.

α\ Morphologie.

Le corps est divisé en trois parties :

- Région antérieure. C'est le **scolex** ; il porte le dispositif de fixation : ventouse et/ou crochets en couronne.
- Zone de prolifération ou **cou**. C'est à ce niveau que se forment les segments composant le corps de l'animal.
- Le strobile. Il occupe 9/10^{ème} du corps. Il est formé d'une succession de segments (les **proglottis**).

β\ Le tégument.



Aspect ultrastructural de l'épiderme des cestodes

Le tégument est composé d'une **cuticule épaisse** permettant une **protection** face aux enzymes digestives de l'hôte. Cette cuticule est recouverte par des **microtriches** (épines). Elle repose sur la membrane basale. En dessous, on observe **deux couches musculaires** : une couche *musculaire circulaire externe* et une couche *musculaire longitudinale interne*. Sous les muscles, on trouve des cellules épidermiques profondes gardant des relations avec les couches superficielles du tégument.

δ\ Le système nerveux.

Le **système nerveux** est situé dans le **scolex** et est constitué de **deux ganglions cérébroïdes** présentant des *prolongements antérieurs et postérieurs*.

Les **prolongements antérieurs** s'unissent par une **commissure circulaire** où se situent **deux ganglions dorsaux et deux ventraux**.

De chaque ganglion part un cordon nerveux, à l'intérieur du strobile.

Vers l'arrière, on trouve une commissure avec deux ganglions latéraux d'où partent deux cordons latéraux dans le strobile.

A l'extrémité postérieure des proglottis, on a une liaison (commissure) qui relie les six cordons nerveux avec les deux ganglions.

Il n'y a **pas d'organe sensoriel différencié** mais de nombreuses terminaisons nerveuses aboutissent à la cuticule.

ε\ L'appareil excréteur.

Cet appareil excréteur est composé de **4 canaux excréteurs** tout le long du strobile : **deux ventraux et deux latéraux**.

Dans la région postérieure de chaque proglottis, on a une *anastomose qui réunit les canaux ventraux*. Ils débouchent à l'extérieur, au niveau du *dernier proglottis* du strobile alors que les *canaux dorsaux s'atrophient* avant d'atteindre l'extrémité du strobile.

φ\ L'appareil reproducteur.

L'appareil reproducteur rappelle celui des trématodes ; il y a **hermaphrodisme**. Un **pore génital est commun aux deux sexes** : c'est l'**atrium génital**. L'hermaphrodisme est **protandre**. On trouve les appareils mâle et femelle dans le même proglottis.

Les proglottis antérieurs porteront l'appareil mâle.

Les proglottis auront un appareil mâle et un appareil femelle bien développés.

Les proglottis âgés auront un appareil mâle dégénéré et un développement important de l'utérus qui se ramifie et va contenir de nombreux œufs en développement (≈5000 œufs par utérus).

γ\ Classification.

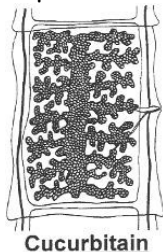
La classification des cestodes est réalisée à partir de la **structure du scolex**, de l'**appareil génital** et sur les **particularités du cycle parasitaire**. On distingue deux sous-classes :

- **Les Cestodaires** : ils n'ont pas de scolex.
- **Les Eucestodes** : ils possèdent un scolex. Cette sous-classe regroupe deux ordres :
 - **L'ordre des Cyclophyllidiens**. Le scolex possède quatre ventouses avec des fibres musculaires radiaires.
 - **L'ordre des Pseudophyllidiens**. Le scolex présente deux dépressions (**pseudobothridies**), une dorsale et une ventrale. La musculature est peu différenciée.

ι\ Développement.

Les cestodes sont dans le tube digestif de leur hôte définitif et s'y **nourrissent par osmose** et n'ont donc pas de tube digestif : ce sont des « **osmotrophes** ». Ils n'ont pas d'appareil respiratoire car ils ont une **vie en anaérobiose**.

Pour pouvoir réaliser tout leur cycle de développement, ils se sont glissés dans la chaîne alimentaire. Ils ont un **grand pouvoir reproducteur** ; ils sont composés d'un grand nombre de segments (proglottis) formés par strobilation, ce qui est *assimilable à une reproduction asexuée* (fournie par des entités reproductrices complètes).



Cucurbitain

Les proglottis présentent un **hermaphrodisme protandre**

La fécondation est réalisée quand un repli de l'animal met en relation des proglottis de sexe différent. A la suite de la fécondation, les cucurbitains donnent des millions d'œufs. Toutefois, tous les cestodes ne sont pas aussi féconds : de petites espèces compensent leur faible nombre d'œufs par une multiplication asexuée à l'état larvaire.

Un **œuf fécondé** donnera par divisions, un **embryon entouré de 3 ou 4 blastomères**. Le tout est **entouré d'une coque**. L'embryon développe trois paires de **crochets** → c'est la **larve hexacanthé** *enveloppée par une coque* (→ **embryonophore**). Embryonophore + embryon hexacanthé = **oncosphère**. Cette dernière peut être aquatique et libre et elle sera appelée larve **coracidium**.

Le cycle de développement ne se poursuit que si le stade **oncosphère** est ingéré. Les sucs digestifs détruisent la coque, cassent l'embryonophore et libèrent l'embryon. Ce dernier se fixe par les **crochets**, perfore l'épithélium et se dirige vers la musculature par la voie sanguine. Une fois dans les muscles, il y a perte des crochets. Il se forme alors une **invagination** qui donnera le futur scolex → c'est un **cysticerque**.

Le stade **cysticerque** est infestant. S'il rencontre un deuxième hôte, il se transforme en **procercoïde** puis en **plérocercioïde**.

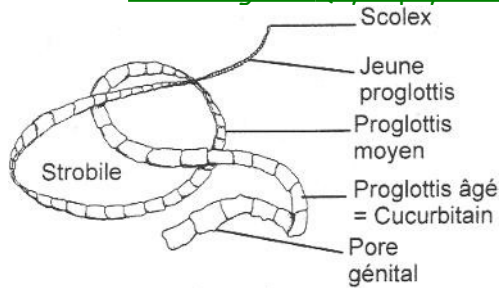
Le **cysticerque** est une **vésicule sphérique, creuse**, avec un **scolex invaginé**. Pendant sa phase d'attente, le cysticerque **s'enkyste dans les muscles**.

La **larve procercoïde** est une *larve allongée, dépourvue de cavité interne*. Son corps présente une constriction délimitant deux parties : à l'avant, on a la future larve et la partie postérieure dégénère.

La **larve plérocercœide** possède le **scolex du vers adulte** et un *début de segmentation*. Le corps est allongé (plusieurs millimètres de long), d'une couleur blanchâtre qui est due à la présence de particules calcaires dans le parenchyme.

κ\ Cycles.

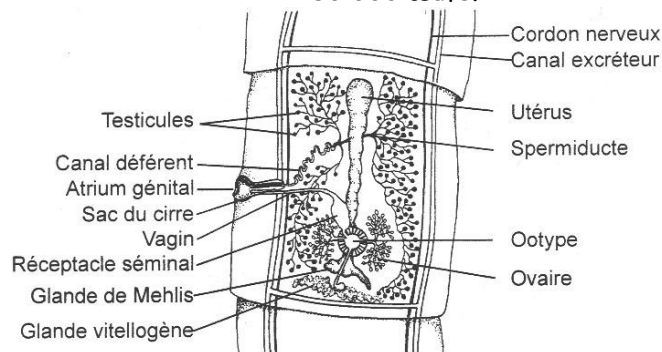
- *Tænia saginata* (Cyclophyllidiens).



Morphologie externe de Ténia

Ce vers mesure de 4 à 12 mètres de long et sa durée de vie atteint 30 ans et même plus. Son **scolex est dépourvu de crochets** mais il possède **quatre ventouses**.

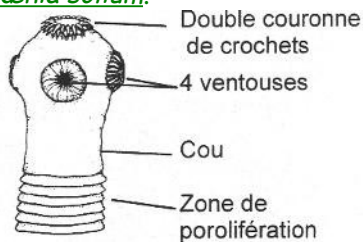
Les pores génitaux sont disposés irrégulièrement à droite ou à gauche le long du strobile. Les cucurbitains *sont libérés au rythme d'une quinzaine par jour, de manière passive ou active* (ils peuvent forcer le sphincter anal du sujet parasité). Les cucurbitains ont un utérus très ramifié (20 à 35 digitations chez le saginata). Dans chaque cucurbitain, on peut trouver jusqu'à 80 000 œufs.



Proglottis moyen de Ténia

Les *stades cysticerques se rencontrent dans la musculature des bovidés* (c'est alors le *Cysticercus bovis*). L'infestation est possible par ingestion de viande de bœuf crue ou pas assez cuite.

- *Tænia solium*.



Scolex de *Tænia solium*

Ce vers peut mesurer *jusqu'à trois mètres de long* (soit ≈ 1000 proglottis). Le **scolex possède une double couronne de crochets**. Les pores génitaux alternent régulièrement le long du strobile. La fécondation se fait par un repli du strobile sur lui-même.

Les cucurbitains se détachent par groupe de 5 ou 10 de façon passive. L'utérus comprend entre 10 et 12 digitations.

Les formes larvaires sont dans la musculature du porc (cœur et langue). Les cysticerques sont appelés « Cysticercus cellulosae ».

L'infestation est réalisée en mangeant de la viande de porc crue ou pas assez cuite. Le vers devient adulte en trois mois. **L'Homme peut s'infester lui-même** en ingérant des oncosphères par l'intermédiaire de mains souillées ou de remontée de cucurbitains dans l'estomac. → C'est la **cysticercose** : cette maladie peut atteindre le cerveau ainsi que les organes sensoriels tels que les yeux.

- **Bothriocéphale : Diphyllobothrium latum.**

Ce vers peut atteindre 2 à 8 mètres et même parfois, 20 mètres. Le **scolex est ovoïde** et porte **deux pseudobothridies** (c'est un **pseudophyllidé**). On y trouve entre 3000 et 4000 anneaux avec un pore génital en position médiane. Les adultes se trouvent dans l'intestin de l'Homme, du chat, du chien, du renard. Les oncosphères sont éliminées avec les selles.

La larve est ciliée, nageuse → larve coracidium. Ce stade larvaire va être avalé par un crustacé du genre copépode dans l'intestin duquel il perd sa ciliature et puis, pénètre dans la cavité générale. C'est alors une larve procercoïde.

Le développement s'arrête et la larve vit aussi longtemps que le crustacé. Si ce dernier est capturé par des **poissons carnassiers**, le cycle continue. Si le copépode est ingéré par un poisson non carnassier, le cycle est bloqué et ne pourra reprendre que si la larve se retrouve finalement dans un poisson carnassier.

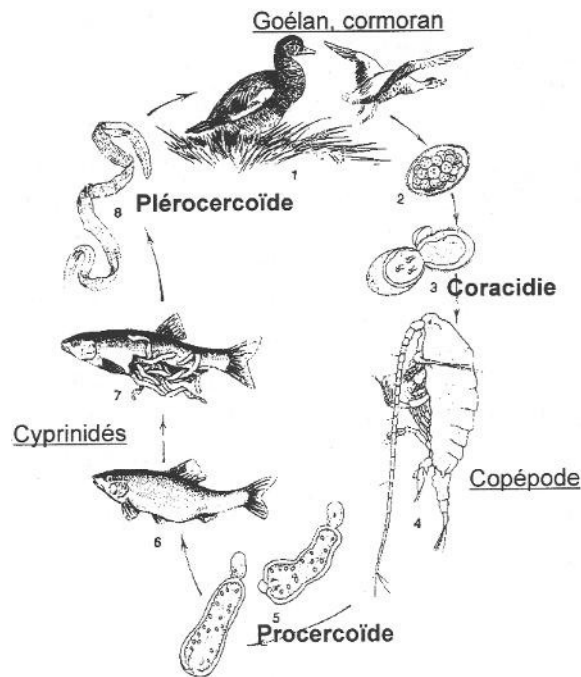
Dans l'estomac du poisson carnassier, les larves entrent dans la paroi et vont se loger dans la musculature (surtout dans les flancs). Du stade procercoïde, on passe au stade plérocercœide qui est infestant pour l'Homme. Si cette dernière larve est mangée par un hôte définitif, elle donnera le stade adulte assez rapidement.

Dans certains cas, le poisson carnassier peut être mangé par un autre poisson : les larves pleurocercœides ne restent alors pas dans l'estomac mais partent dans les viscères du dernier poisson. Là, elles pourront survivre pendant plusieurs années, sans grandir ni se différencier. Le cycle continue si ce poisson est mangé par un poisson carnassier...

- **La Ligule intestinale : Ligula intestinalis.**

La **ligule adulte** se trouve dans l'intestin d'oiseaux aquatiques piscivores (comme les cormorans ou les canards). Le *premier hôte intermédiaire est un crustacé copépode. Le deuxième hôte intermédiaire est un poisson cyprinidé. C'est dans la cavité abdominale* de ces poissons que les larves se rencontrent. Elles peuvent atteindre plus de 25 centimètres de long et il peut y avoir *plusieurs larves dans un même poisson*. Il va se produire une **déformation importante** de la partie : le corps s'alourdit et la capacité de nage s'en trouve diminuée. Ces poissons deviennent plus faciles à attraper par les oiseaux.

Ce parasitisme entraîne une **stérilisation des poissons** car il n'y a plus d'espace libre pour le développement des gonades.



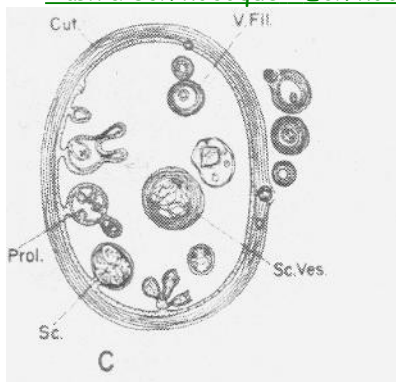
Cycle de vie de Ligula

- Tænia multiceps.

Ce tænia vit dans l'intestin grêle. Sa forme larvaire est localisée dans le cerveau de mouton (c'est la forme **cénure**) dont la taille est celle d'un œuf de poule (6 à 8 centimètres). La présence de cette larve provoque des troubles de la mobilité : c'est la **maladie du tournis**.

C'est sur la forme larvaire que vont bourgeonner de nombreux **scolex**, au niveau de la **membrane prolifère**. La formation de nombreux scolex s'apparente à une multiplication asexuée.

- Tænia échinocoque : Echinococcus granulosus.



Echinococcus granulosus
(schéma de l'Hydatide)

On trouve ce vers chez les canidés. Il peut mesurer 3 à 4 centimètres de long ; il possède une **double couronne de crochets** et 3 à 5 proglottis pour le strobile. Les deux premiers proglottis sont en cours de maturation ; le troisième possède des organes génitaux formés ; les deux derniers contiennent des œufs fécondés.

Les cucurbitains renferment chacun 300 à 800 œufs. Ces derniers sont libérés avec les excréments, puis ingérés par des herbivores. L'Homme peut être contaminé accidentellement par l'intermédiaire de crudités souillées ou bien, s'il touche un chien ayant portant le parasite (prurit anal).

Le vers traverse la paroi intestinale et rejoint le foie de l'herbivore et là, se différencie en une **boule de 20 centimètres de diamètre** : le **stade hydatide**. Ce stade se développe lentement : 16 mois chez les ovins et les bovins ; 18 mois à 30 ans chez l'Homme. Dans l'hydatide, il y a un **bourgeonnement de scolex** à partir de la **membrane interne (prolifère)** : on peut arriver

à 400 000 scolex par centimètre cube. Chez l'Homme, il y a besoin d'une intervention chirurgicale. Les plus grands foyers de développement sont les *lieux d'élevage intensif de mouton*.

- *Echinococcus multilocularis* (*Echinococcus alveolaris*).

Ce vers est un **parasite du renard** (hôte définitif). *L'hôte intermédiaire est le campagnol*. L'Homme peut être hôte intermédiaire s'il consomme des baies sauvages souillées. Il existe une **forme hydatide** (dans le foie) qui provoque des *nécroses hépatiques* très graves.

Chez l'Homme, cette maladie est *l'échinococcose alvéolaire* ; 200 cas étaient recensés en France, vers 1980.

- *Diphylidium caninum* (cyclophyllidés).

C'est un vers dont la taille varie entre 50 et 80 centimètres. **L'adulte** est dans l'intestin de **chien**. **L'œuf se développe** quand il est avalé par des **larves de puces**.

La puce subit des mues ou des métamorphoses et le chien se *contamine en ingérant des puces adultes*.

II\ Les Pseudocœlomates.

Les **pseudocœlomates** ont leurs **organes situés dans une cavité corporelle** qui a des avantages réels. Celle-ci est appelée **cavité viscérale** ou primaire. Toutefois, le *mésoderme ne participe que partiellement à la délimitation de cette cavité* (du **côté externe** uniquement).

La cavité renferme quelques cellules amiboïdes. Le tube digestif et les gonades sont suspendus dans cette cavité.

On définit **sept embranchements** dont trois qui seront étudiés en cours : les **Nématodes**, les **Nématomorphes** et les **Rotifères**. Anciennement, les nématodes et les nématomorphes composaient le groupe unique des *némathelminthes*.

Les pseudocœlomates ont tous un plan d'organisation et des caractères semblables :

- Ils sont tous **plus ou moins vermiformes**.
- Leur corps est **recouvert d'une cuticule**.
- La paroi du corps ne possède **pas de couches musculaires circulaires et transversales**.
- La *paroi du tube digestif est généralement simple* (cellules épithéliales sur une couche) avec parfois une couche musculaire autour de la paroi.
- Il n'y a **ni système respiratoire ni système circulatoire**.
- Le **système excréteur** est le plus souvent **protonéphridien**.
- Les pseudocœlomates présentent un *cloaque où débouchent les systèmes digestif, urinaire et génital*.

Toutefois, les **nématodes femelles ont un gonopore séparé**.

La plupart des pseudocœlomates présente un **nombre défini de cellules dans chaque organe**. → C'est l'**eutélie**. La *croissance se fait grâce à l'augmentation du volume cellulaire* et non du nombre de cellules. On pourra fréquemment observer des *cellules géantes*.

Toutefois, cette tendance *limite les possibilités de régénération*. En fait, cette tendance a été étudiée chez *Cænorhabditis elegans* (génétiquement très connu, comme la drosophile) et il a

été montré un même complexe de **gènes homéotiques** que chez la drosophile, la souris et l'Homme (HOM/HOX).

A\ Les Nématodes (semblables à un fil).

Chez les nématodes, on observe l'**absence totale de cellule flagellée ou ciliée** (même chez les spermatozoïdes). Les *spermatozoïdes* sont *ronds ou coniques* et se déplacent grâce à des *mouvements amiboïdes*.

Il existe plusieurs dizaines de milliers d'espèces (80 000) mais elles sont difficiles à identifier. Les nématodes **sont souvent parasites de végétaux ou d'animaux** (dont l'Homme) et provoquent des **nématodoses** (dangereuses).

D'un point de vue écologique, on les trouve sous toutes les latitudes (des glaciers jusqu'aux sources thermales) et ils présentent une **grande uniformité structurale**.

α\ Morphologie

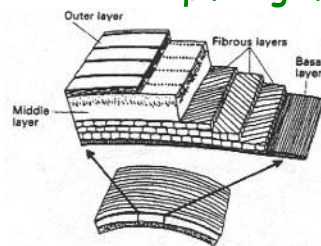
Les nématodes sont des **vers blancs à section circulaire**, effilés aux deux extrémités. Les mâles ont une taille comprise entre 12 et 15 centimètres alors que les femelles sont bien plus grandes. La **bouche** s'ouvre à l'**extrémité antérieure** et est **entourée de trois lèvres** (une dorsale et deux ventrales) portant des **soies céphaliques à rôle sensoriel**.

La **femelle** a une **extrémité postérieure** qui porte l'**anus**. Le **mâle** a une **extrémité postérieure enroulée ventralement en crosse** et qui porte, en position sub-terminale, un orifice sub-cloacal où l'on trouve des **spicules sexuels copulateurs**.

La **femelle** présente une **constriction annulaire** dans le **tiers antérieur** du corps et c'est à ce niveau que s'ouvre l'**orifice génital ventral**.

Lors de l'accouplement, le **mâle enroule sa crosse autour de la femelle**, dans le tiers antérieur.

β\ Tégument.

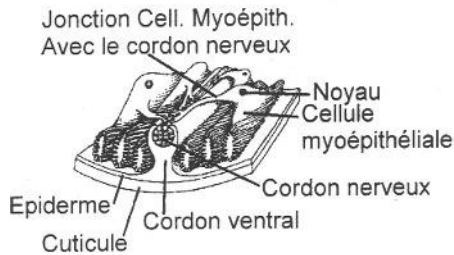


L'**épiderme** est recouvert par une **cuticule épaisse, imperméable**, pouvant avoir *jusqu'à neuf couches cellulaires* (dont trois couches de fibres obliques croisées). Ces fibres permettent de **résister à la très forte pression interne** car ils n'ont **pas de musculature interne**. Cette cuticule *limite aussi les pertes par évaporation*.

Cuticule de Nématodes

Sous la cuticule se trouve l'**épiderme avec deux épaississements longitudinaux** (un dorsal et un ventral) où sont localisés les **cordons nerveux** (un dorsal et un ventral). *Latéralement* (à gauche et à droite) on trouve *deux gouttières* au niveau desquelles on a les **canaux excréteurs**.

Structure neuromusculaire d'un nématode



Le **mésoderme** est représenté par des **cellules myo-épithéliales**. Elles sont implantées dans le **feuillet ectodermique externe** ; elles vont définir la paroi externe de la cavité primaire (ou cavité viscérale) → la **somatopleure**.

Ces cellules sont sur une assise et forment **quatre champs musculaires** (deux dorsaux et deux ventraux). Ces champs sont délimités par **quatre cordons** (un dorsal, un ventral, un à droite et un à gauche). Ces cellules différencient des *myofibrilles du côté de l'épiderme* : c'est un dispositif original car d'habitude, ce sont les nerfs qui envoient des fibrilles vers les organes. La contraction de ces cellules donnera uniquement des enroulements.

δ\ Les organes des sens.

Il existe des organes classiques mais aussi :

- Des amphides : invaginations cuticulaires dans la partie antérieure à rôle **chimiorécepteur**.
 - Les Phasmides : ce sont des **organes sensoriels paires**, situés latéralement en *position post-annulaire*.
- Les organes sensoriels permettent de distinguer deux sous-groupes.

ε\ Le système nerveux.

Le **système nerveux** des nématodes est **rudimentaire, acculé ou inclus dans l'épiderme**. Il est composé de *centres nerveux localisés au niveau du collier péri-œsophagien*. Ce collier émet des *nerfs en direction des lèvres buccales* et va émettre des *troncs nerveux moteurs ou sensitifs*. On distingue **six nerfs dans la région antérieure** et **huit troncs nerveux** (6 moteurs et 2 sensitifs) *partent vers la partie postérieure*.

φ\ L'appareil excréteur.

L'appareil excréteur ne porte pas de protonéphridie. On a deux types distincts :

- Chez les nématodes primitifs, on a **une ou deux cellules géantes** (les **cellules Renette**) *situées ventralement à la jonction œsophage/intestin*. Chaque cellule possède un *pore excréteur en position antérieure*.
- Chez les formes plus évoluées, les **cellules géantes s'atrophient** et il y a formation de **deux canaux excréteurs** qui courent *le long du corps* ; un *seul pore excréteur* est présent en *position antérieure*.

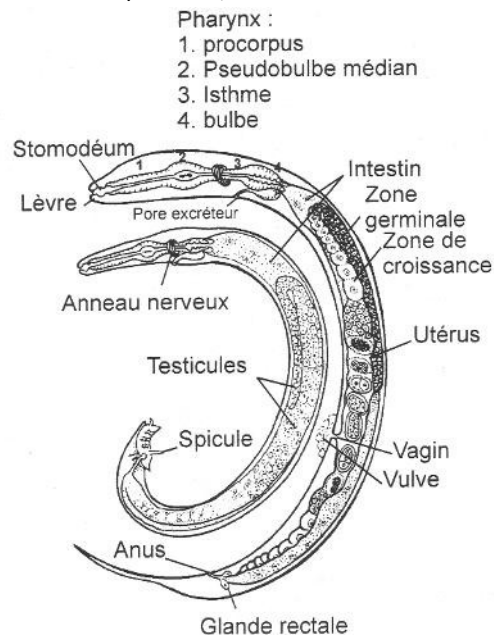
γ\ L'appareil digestif.

L'appareil digestif est pratiquement rectiligne et comporte **cinq éléments principaux** :

- La **bouche** (en position terminale avant) est entourée par **trois lèvres hémisphériques** (**une dorsale et deux ventrales**).
- La **cavité** (ou capsule) **buccale** est tapissée par une mince couche cuticulaire ; l'organisation est fonction du comportement alimentaire des différentes formes. Cette

capsule buccale peut être **armée de dents, denticules** ou **râpes**. Chez les nématodes marins les plus primitifs, quatre formes existent :

- *Forme simple sans armature* : elle permet l'absorption de **nourriture liquide**.
 - *Forme conique sans armature* : on la trouve chez les nématodes **microphages**.
 - *Forme à armature réduite* (denticules ou râpes) : elle est présente chez les **mangeurs d'algues** ou chez certaines formes **mégalo-phages** (qui mangent de tout).
 - *Forme à armature développée* : existe chez les nématodes **prédateurs**.
- Le **pharynx** est *muscleux à parois épaisses*, tapissées d'une *couche cuticulaire*. C'est à ce niveau que l'on trouve des *glandes à fonction anti-coagulantes* (pour les formes parasites de vertébrés).
 - L'**intestin** est *droit et mince* (une seule couche cellulaire endodermique).
 - Le **rectum** est d'origine ectodermique car il est tapissé d'une *couche cuticulaire*. Les femelles ont un rectum *terminé par anus* qui s'ouvre en *position sub-terminale*. Chez le mâle, le rectum débouche dans un *cloaque* où l'on trouve les *spicules copulateurs*. C'est ici que s'ouvrent les canaux déférents.

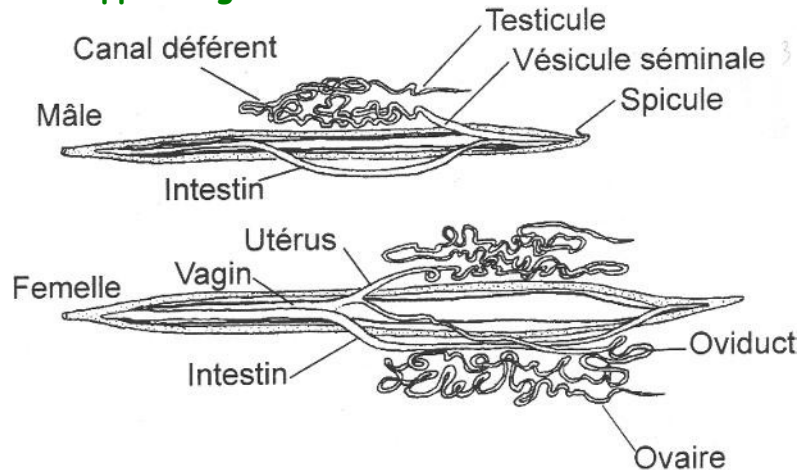


App. Génital et TD d'un Nématode (suite)

Les nématodes ingèrent souvent de la nourriture liquide, et, pour se faire, il existe chez eux, un *dispositif pouvant contrebalancer leur pression interne* importante. Ce dispositif est présent au niveau du pharynx et terminé par une valve. Au milieu du pharynx, on a une sorte de **pompe** pharyngienne :

- D'abord, la *partie antérieure se dilate* : il y a *aspiration de liquide* ; la *valve terminale est fermée*.
- Ensuite, le *pharynx se contracte* : la *partie antérieure* va avoir un *diamètre plus petit* ; la *valve postérieure s'ouvre* et le *liquide passe par cette valve*.

ι\ L'appareil génital.



App. Génital et TD d'un Nématode

Les nématodes sont des animaux **gonochoriques**.

L'appareil mâle :

Cet appareil est constitué d'un **testicule tubulaire, filiforme**, très long (1 mètre ou plus). Il est entouré sur lui-même et autour de l'intestin. Ce testicule se renfle dans la portion terminale et forme la **vésicule séminale** qui stocke les spermatozoïdes. Cette vésicule débouche dans le cloaque.

L'appareil femelle :

L'appareil femelle est composé de **deux ovaires tubulaires filiformes** (un à deux mètres). Ces ovaires se transforment ensuite en **oviductes** puis en **utérus bien développés**. Ils vont se rejoindre pour donner le **vagin** qui est *beaucoup plus grêle*. Il aboutit à l'**orifice génital femelle** (dans le tiers de la partie antérieure, ventral).

Les femelles fécondées pondent de 70 000 à 240 000 œufs par jour pendant 12 à 18 mois.

La **fécondation** est toujours **croisée** et **interne** grâce aux stylets copulateurs du mâle.

Les œufs sont pondus à différents stades selon l'espèce. La ponte peut donner :

- Des œufs **non segmentés**.
- Des œufs à **segmentation débutée**.
- Des œufs à **embryon complètement formé**.

Il existe une **exception** au gonochorisme des nématodes chez le **genre Rhabdite** : l'**hermaphrodisme** est **protandre**, avec **autofécondation**.

La cuticule externe oblige l'**accroissement** à se faire **par mues successives** (*en général, il y a quatre mues* dans la vie d'un animal).

κ\ Les grands groupes de nématodes.

On distingue deux principaux groupes :

- Les **Aphasmidiens** : ils n'ont **pas de phasme** et sont **parasites**.
- Les **Phasmidiens** : ils possèdent **deux phasmides** et sont **libres**, vivant dans la terre ou dans la matière putréfiée ; sinon, ils peuvent être **parasites de végétaux ou d'animaux**.

λ\ Ecologie et éthologie des formes libres.

Les formes libres représentent la moitié des nématodes. On les rencontre dans la plupart des habitats (eau douce, eau de mer, sol humide, mousse, matière organique en décomposition).

Souvent, les nématodes pullulent :

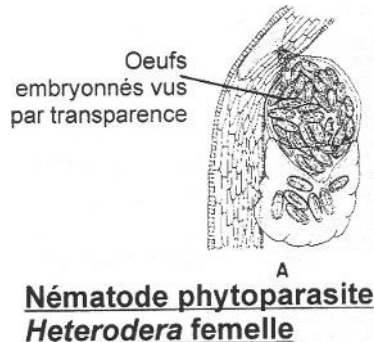
- Dans les fruits pourris des vergers : on trouve plusieurs milliers d'individus d'espèces différentes.
- Dans les milieux hostiles au développement de la vie. Exemple : l'anguille du vinaigre (*Anguillula*) se développe dans le vinaigre, avec 6 à 7% d'acide acétique pur. Elle se nourrit du cadavre des bactéries acétiques, responsables de la fermentation. Elle supporte des pH allant de 2,5 à 11,5.

μ\ Ecologie et éthologie des formes parasites.

Généralement, en cas de parasitisme, il y a des modifications structurales importantes et présence d'une reproduction asexuée possible à l'état larvaire.

Ces modifications ne se voient pas chez tous les nématodes. Le développement des formes libres ou parasites est identique. Les parasites vont s'attaquer aux végétaux ou aux animaux.

a\ Les parasites de végétaux.



Ces nématodes sont des **destructeurs redoutables des végétaux cultivés**. Ils provoquent l'**interruption** de la **croissance** de la plante, une **castration** (par suppression des fruits et des graines), entraînent l'**apparition de galles spécifiques**. Les galles sont des *kystes* sur les tiges ou sur les racines où *vivent les femelles qui se nourrissent de cellules géantes*, produites par la plante parasitée.

b\ Les parasites d'animaux.

Exemple 1 : *Enterobius vermicularis*.

Ce parasite est responsable de l'oxyurose.

Les adultes vivent et s'accouplent dans le *cæcum* digestif de l'Homme, pouvant provoquer l'**appendicite**. Après accouplement, les femelles vont dans le *rectum*, s'y fixent et pondent. Il y a alors démangeaisons ou **prurit anal**. Les œufs (de 50 à 60 μm) restent collés dans l'**anus**. Ils donnent les **embryons** qui sont **directement infestant**.

L'enfant se contamine en portant les mains (souillées) à la bouche (c'est une auto-infestation ou **parasitose des mains sales**), ou en inspirant des poussières contenant des œufs.

Les œufs, une fois dans le tube digestif vont subir l'action des sucs digestifs qui vont casser la coque et ainsi, libérer les larves qui passent au **stade adulte** en une **trentaine de jours**. Les adultes se nourrissent des **bactéries** du tube digestif et ne sont **pathogènes** que lorsque leur **population augmente trop fortement** et provoque des **occlusions du tube digestif**.

Exemple 2 : *Trichurus trichuria* (monoxène).

Ces vers sont des **parasites des cæcums digestifs**. Ils ont une *partie antérieure effilée*, implantée dans la *muqueuse digestive* des mammifères (la partie postérieure est libre). Ce sont des **hématophages**. Une centaine d'individus consomment 50 millilitres de sang par jour.

Les œufs pondus ne donnent pas directement des larves (en restant à l'intérieur). Pour la suite de leur développement, un **séjour de trois semaines à l'extérieur est obligatoire**.

La durée de vie de l'adulte est de **cinq ans**. Les femelles donnent 10 000 œufs par jour et l'*infestation se fait par l'intermédiaire de boissons et de légumes mal lavés*.

Les œufs donnent des adultes en un mois.

Exemple 3 : Ascaris.

Les larves d'ascaris font d'importants déplacements dans l'organisme parasité : **migration dans l'hôte** (→ cycle avec migration).

Les **lombricoïdes** provoquent l'**ascaridiose humaine**.

Les adultes s'accouplent et pondent des l'intestin grêle. La femelle donne 240 000 œufs par jour. Ces derniers seront évacués avec les excréments et donnent des **larves infestantes au bout de 30 à 40 jours** si la température externe est voisine de 30 degrés, avec des sols humides et ombragés.

L'infestation est réalisée par ingestion d'aliments souillés. Après la digestion de la coque, la larve va migrer dans l'organisme. Les **larves** traversent d'abord l'**épithélium digestif** avant d'atteindre le **foie** par **voie sanguine**. Elles y restent pendant *trois à quatre jours* puis, gagnent le **cœur droit** par la **circulation veineuse** puis rejoignent les **poumons** par les **artères pulmonaires** et y restent environ *une semaine*. Elles vont y subir **deux mues**. Elles remontent ensuite les **voies respiratoires** (bronchioles, bronches, trachée) et arrivent au niveau du **carrefour bucco-pharyngé** et prennent alors la **voie digestive** et rejoignent le **grêle où elles deviendront adultes**. La **migration dure environ 15 jours**. Après le grêle, les larves passent au gros intestin, puis au rectum où elles sont matures sexuellement.

L'homme est le seul réservoir de ce parasite et cette maladie touche environ $\frac{1}{4}$ de la **population mondiale**, surtout dans les pays pauvres.

Les symptômes observés sont : des **occlusions intestinales**, des **invaginations intestinales** (et des étranglements de ce tube digestif → **hernies**), des **péritonites aiguës** et des dégâts dans le foie (**pancréatites**). De plus, ces ascaris rejettent des substances toxiques pour le système nerveux de l'Homme. D'autres vertébrés or l'Homme peuvent être parasités par pratiquement la même espèce (cheval, porc, chien, chat).

Exemple 4 : Trichinella spiralis (hétéroxène).

On trouve ce parasite *dans l'intestin grêle de nombreux animaux* (chien, chat, rat, porc, sanglier, phacochère, Homme). Les *femelles pénètrent dans la muqueuse intestinale* et y **pondent deux larves par heure pendant les vingt-huit jours de leur vie**.

Les **femelles sont vivipares** et donnent des **larves** qui gagnent le **cœur droit** par le **liquide lymphatique** puis, les **poumons**, passent dans le **cœur gauche** et seront distribuées dans **tout l'organisme** par la **circulation aortique**. Ces **larves** vont se **fixer** dans les **muscles striés** et *s'enkyster pendant 12 à 18 mois*. Les **kystes** se calcifient et **sont infestant**. *Les Hommes se contaminent en consommant de la viande mal cuite*.

Chez les **rats**, *l'infestation est propagée par le cannibalisme* caractérisant cette espèce : l'hôte intermédiaire et l'hôte définitif peuvent être de la même espèce. Dans ce cas, on parle alors de **cycle auto-hétéroxène**.

Exemple 5 : Wuchereria bancrofti (Filaire de Bancroft).

Les **adultes** de ce parasite vivent dans les **vaisseaux lymphatiques**. Le mâle fait environ **4 centimètres** et la **femelle** mesure aux alentours de **8 centimètres**. Les **larves** circulent dans le **liquide lymphatique** et *migrent périodiquement dans les vaisseaux sanguins périphériques* selon un **rythme nycthémeral** (jour/nuit) correspondant à la *sortie de l'insecte vecteur* (**Anophèle** : moustique). Grâce aux piqûres, les moustiques pompent le sang de vertébrés alors que les *larves se concentrent sur les pièces buccales du moustique*. Elles seront transmises à la victime suivante par une nouvelle piqûre. Les *larves deviennent adultes en trois mois*. Les parasites sont surtout dans les zones tropicales (Afrique, Amérique du sud, Asie).

Ce parasite provoque l'**éléphantiasis** : les membres inférieurs deviennent énormes à cause de la présence du *parasite dans le système lymphatique* de ces membres. Le scrotum peut aussi être atteint.

B\ Les nématomorphes.

Les **nématomorphes** sont des **vers longs** (environ 1,5 mètre) qui ressemblent aux nématodes. Leur **intestin est réduit**, les **larves sont parasites** alors que les **adultes sont aquatiques libres**.

La **vie adulte est brève** et ces adultes **ne se nourrissent pas** : *l'anus et la bouche sont non-fonctionnels*. La *larve va donc se nourrir par osmose*, au travers du tégument.

Le **système nerveux est intra-épidermique** ; **canaux excréteurs et protonéphridies sont absents** ; on note la présence de **cellules myo-épithéliales** sur un seul champ ventral. Les **sexes sont séparés** ; il y a un **dimorphisme sexuel** ; la **fécondation est interne**.

On trouve environ 250 espèces de nématomorphes, regroupées en **deux ordres** : les **Gordiens** (larves parasites d'insectes en eau douce) et les **Nectonématoïdes** (parasites de crustacés, marins).

1\ Les Gordiens.

Chez les gordiens, le *pseudo-cœlome est pratiquement rempli par du mésenchyme*.

Exemple : *Paragordius tolosanus*.

Ce parasite possède **deux hôtes intermédiaires**.

Les œufs donnent des **larves** qui vont au fond de l'eau. Elles seront **ingérées par une larve d'insecte névroptère** (*Sialis*) qui doit être **mangée par un carabe** (*coléoptère*). Une fois dans ce carabe, la *larve se métamorphose en un vers adulte, libre*. Ce dernier pourra subir la fécondation.

2\ Les Nectonématoïdes.

Les **nectonématoïdes** sont **parasites de crustacés**. Les *adultes sont libres et pélagiques* ; mesurent environ 20 centimètres de long. On note la présence d'une **double rangée de soies sur le corps**. Ces soies favorisent la **nage par ondulation**. Le *pseudo-cœlome n'est pas comblé par du mésenchyme*.

Exemple : *Nectonema*.

C\ Les Rotifères.

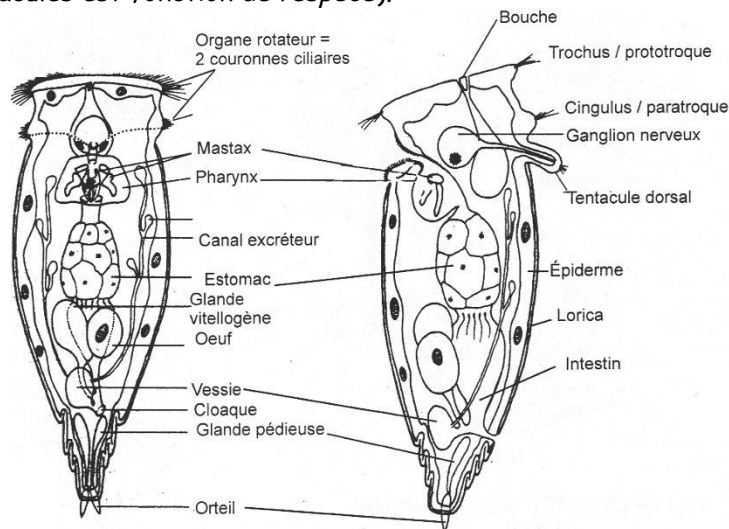
Les **rotifères** ont une *taille généralement inférieure à celle des ciliés* (ils dépassent rarement deux millimètres). Leur **corps est non-segmenté** et la **partie antérieure** du corps est **pourvue d'un appareil rotateur cilié** (caractéristique de cet embranchement).

α\ L'appareil rotateur.

Cet appareil est constitué par **un ou deux anneaux de cils entourant** une zone centrale déprimée en entonnoir (**l'aire buccale**). Au fond de cette aire s'ouvre la **bouche**. Cet **appareil sert à la locomotion** et à la **nutrition**. Il est très développé, ou réduit, ou absent, pour des formes de rotifères semi-terrestres.

La **couronne extérieure postérieure** est appelée paratroque (ou cingulum). La **couronne interne antérieure** est appelée **prototroque** ou **trochus**.

Sur la **face dorsale**, on peut trouver des **tentacules garnis de soies sensorielles** tactiles (le nombre de tentacules est fonction de l'espèce).



Rotifère femelle - vues de face et de profil

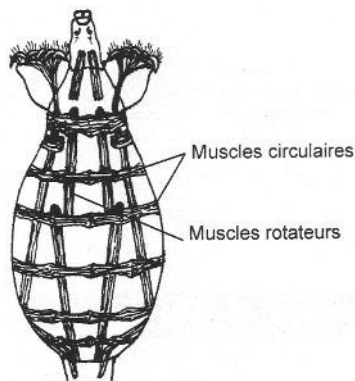
β\ Le pied.

La **région postérieure** est appelée « le **pied** ». Celle-ci est terminée par **deux orteils** plus ou moins longs entre lesquels débouchent les **glandes pédieuses** qui sécrètent un liquide visqueux.

Chez certaines espèces, les *orteils forment des ventouses* ou des *disques adhésifs* qui servent aux déplacements ou à la fixation de l'animal un substrat dur.

Chez les *espèces pélagiques*, le *pied* peut être *réduit ou absent*. Il est très développé chez les formes primitives qui sont rampantes.

δ\ Paroi et musculature.



**Musculature d'un rotifère
(Rotaria vue dorsale)**

La **paroi** des rotifères est **constituée** par une **cuticule** (épiderme simple avec quelques faisceaux musculaires). La couche cuticulaire peut être très **épaisse et divisée en plaques** : on parle alors de « **cuirasse** » ou de **lorica**.

L'épiderme du pied (*glandes pédieuses*) sécrète une substance pour la *synthèse de tubes* chez les rotifères fixés. Cet épiderme donne chez les formes pélagiques, une substance gélatineuse.

La **musculature** est essentiellement constituée de *faisceaux circulaires, longitudinaux et discontinus*. Il existe des **muscles rétracteurs du pied et de l'appareil rotateur**.

Il existe un **organe rétro-cérébral** dans la région antérieure (au niveau du système nerveux central) qui a la forme d'un sac ouvert à l'extérieur. La fonction de cet organe est inconnue.

ε\ L'appareil digestif.

La **bouche** s'ouvre au fond de l'**aire buccale** (antérieure). Celle-ci communique avec un **pharynx** de deux manières :

- **Directement** chez les espèces prédatrices.
- Par l'**intermédiaire d'un tube buccale** à *paroi interne ciliée*.

Le **pharynx** est une *chambre musculaire possédant un appareil masticateur* (le **mastax**) qui est caractéristique de l'embranchement. Le mastax est formé de pièces mobiles d'origine cuticulaire. Les *mâchoires* sont appelées « **tropi** ».

On peut distinguer **sept pièces cuticulaires principales** : le **fulcrum**, les **ramus** (×2), les **uncus** (×2), les **manubrium** (×2).

Les **ramus** et le **fulcrum** constituent la **mâchoire inférieure** alors que les **uncus** et les **manubriums** constituent la **mâchoire supérieure**. Chez les espèces prédatrices, cet appareil peut faire saillie par l'orifice buccal pour permettre la capture et la dilacération des proies. Les pièces de cet appareil ont une morphologie différente, comme la formation des pinces ou des pièces perforantes.

Au niveau du *pharynx*, on trouve des *glandes salivaires* (entre deux et sept en fonction des espèces). L'*œsophage* est court et cilié. L'*estomac* est glandulaire ; on y trouve deux *glandes gastriques*. L'*intestin* est court, suivi d'un *rectum* qui débouche dans un *cloaque*. L'orifice *cloacal* est dorsal, au niveau de la descente du pied.

φ\ L'appareil excréteur.

L'appareil excréteur est formé par **deux protonéphridies**. Les *canaux* en partant débouchent dans une *vessie contractile* (ou **urocyste**). Elle débouche ventralement dans le *cloaque*. Chez certaines espèces, la vessie est absente : ce sont alors les canaux qui débouchent dans le cloaque. Cet appareil **contrôle la pression interne** et joue donc un **rôle osmo-régulateur**.

γ\ Système nerveux et organes des sens.

Le système nerveux est composé par un **volumineux ganglion cérébral**. De ce ganglion partent **deux nerfs ventraux** et deux **terminaisons nerveuses secondaires** vont innervent l'**appareil rotateur**, les **yeux**, la **musculature** et partent vers le corps.

Les organes sensoriels se situent au niveau de la **double couronne ciliaire de l'appareil rotateur**. On distingue *trois types d'organes* : les **chémorécepteurs**, les **tangorécepteurs**, les **photorécepteurs**.

Les organes sensoriels sont : des *soies*, des *papilles*, des *fossettes ciliées*. On trouve aussi deux yeux qui vont fusionner en un **œil unique rouge vif**.

ι\ L'appareil reproducteur.

Les sexes sont séparés (**gonochorisme**) et le **dimorphisme sexuel** est très marqué (les mâles sont plus petits que les femelles). *Pour de nombreuses espèces, la forme mâle n'a jamais été découverte.*

L'appareil mâle :

Cet appareil est constitué d'un **testicule** (donc impair) poursuivi par un **canal déférent** qui s'ouvre au niveau du pied. Il peut y avoir formation d'une **papille à l'ouverture**, représentant un **pénis**.

L'appareil femelle :

Cet appareil est formé d'un **ovaire** en position ventrale, suivie d'un **oviducte** qui débouche dans le **cloaque**. L'ovaire est composé de deux parties : la **partie antérieure** comprend les **ovules** alors que la **partie postérieure** a un rôle **vitellogène**. On observe donc une **séparation des fonctions gamétogènes et vitellogènes**.

κ\ **Systématique.**

Les Rotifères sont divisés en **trois ordres** :

- **L'ordre des Seisonidés.**

Dans ce groupe, on trouve quelques **espèces marines** dont certaines qui sont **épizoïques** (vivant fixées sur d'autres organismes). Leur **reproduction est bisexuée, sans parthénogenèse**.

- **L'ordre des Bdelloïdés.**

Les bdelloïdés colonisent les mousses, les lichens et l'eau douce. Ils sont **nageurs** ou **rampants**. On ne connaît pas les formes mâles et il y a **parthénogenèse thélytoque** (femelle → femelle), **indéfinie et obligatoire**.

- **L'ordre des Monogonontes.**

Les monogonontes vivent dans les eaux douces, saumâtres, dans les mousses, les lichens. Ils **peuvent être nageurs ou fixés**.

λ\ **Mode de vie.**

Actuellement, on connaît environ **2000 espèces**. On les trouve dans les différents milieux de vie mais particulièrement en eau douce et dans les mousses et lichens. On note quand même la présence de **quelques formes parasites de végétaux et d'animaux**.

Les **formes aquatiques** sont surtout **benthiques** et se déplacent à la recherche de nourriture. Les **autres formes** sont **fixées** (généralement sur des algues). Les formes planctoniques ont une morphologie externe modifiée par les conditions du milieu.

Pour une même espèce, on va avoir une morphologie différente selon le milieu de vie, ce qui entraîne des difficultés de détermination.

Les rotifères mangent des animaux, des végétaux (souvent de petite taille) qui seront attirés par la (les) couronne(s) ciliaire(s). Le **mastax**, chez les formes prédatrices est la première manifestation de la fragmentation des aliments dans le tube digestif.

μ\ **Reproduction.**

Les **œufs** ont une **segmentation totale et égale**.

Chez les **Seisonidés**, la **reproduction est simple, normale**. Il n'y a **jamais de parthénogenèse**. Chez les **Bdelloïdés**, toutes les **femelles donnent des œufs** qui se développent seulement par **parthénogenèse**. En revanche, les **Monogonontes** ont une **reproduction sexuée compliquée** (avec **trois sortes d'œufs**). Il y a **alternance de générations parthénogénétiques et d'une génération sexuée**.

Les **femelles parthénogénétiques** sont appelées « **femelles amictiques** ». Elles sont **diploïdes** et **ne peuvent s'accoupler**. Elles **donnent des embryons à développement immédiat** ne subissant pas la **réduction chromatique**. Ces **embryons** donnent des **femelles diploïdes**. Sous l'influence de **certaines conditions du milieu** (photopériode, température, pH, densité de

population) apparaissent des femelles fécondables (« femelles mictiques »). Ces dernières vont donner des ovules qui émettent deux globules polaires. Si les ovules sont non fécondés, on aura des mâles haploïdes. Ces mâles pourront s'accoupler avec les femelles mictiques. La fécondation aboutit à des œufs à coquille épaisse → « œufs de durée ». Ces œufs peuvent supporter l'hiver. Quand ils se trouvent dans de bonnes conditions, ils se développent et produisent des femelles amictiques.

Les rotifères peuvent être dits **monocycliques** quand ils présentent plusieurs générations parthénogénétiques pendant la même saison et **une génération sexuée à l'automne**. Les rotifères **polycycliques** ont **au moins deux périodes de reproduction sexuée** (automne et printemps).

Pour tous, à la belle saison, il y a succession de femelles amictiques (diploïdes).

Il existe des **affinités nématodiennes** : symétrie bilatérale, pseudo-cœlome, cuticule, absence d'appareil respiratoire et circulaire.

Il existe aussi des **différences fondamentales** avec les mêmes nématodes : *les nématodes ont une croissance discontinue par mues, ils n'ont pas de formations ciliaires ni d'appareil excréteur de type protonéphrien.*

→ Nématodes et rotifères n'ont donc pas d'ancêtre commun.

Par contre, on trouve des **ressemblances remarquables avec les plathelminthes**. Le **système excréteur est proche**, il y a **séparation des fonctions gamétogènes et vitellogènes**. On trouve les **mêmes modalités de développement des rotifères et des turbellariés**. Il y a la présence d'une **ciliature assurant la locomotion**. On peut aussi comparer les pièces du mastax et les pièces du pharynx de certains turbellariés.

→ Une parenté entre turbellariés et rotifères est donc probable.

Les Métazoaires Triploblastiques Cœlomates.

L'embranchement des annélides.

Les annélides sont des **protostomiens**, **hyponeuriens** à **symétrie bilatérale**. Leur corps est constitué de **métamères** (unités anatomiques) disposés les uns à la suite des autres. Tous les métamères de la région moyenne sont à peu près identiques : on parle alors de **métamérie homonome**.

Le **segment antérieur** est le **prostomium** et le **segment postérieur** est le **pygidium** : ils ne sont **pas métamérisés** car ils n'ont **pas de vésicule cœlomique**.

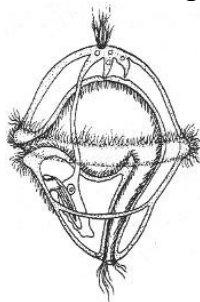
La **chaîne ganglionnaire** est **ventrale**, traverse tous les métamères de l'avant vers l'arrière et dans chaque métamère, on trouve une **paire de ganglions nerveux**.

L'**appareil excréteur** est **métamérisé**, constitué d'une **paire de néphridies** par segment.

L'**appareil circulatoire** est **clos**.

Le **tube digestif** est **complet** et **bien différencié**.

Le développement des œufs se fait par **segmentation inégale, spiralée**. Le développement embryonnaire donne, après la gastrulation, une **larve nageuse** (larve trocophore)



I\ La classe des Polychètes.

Les polychètes portent sur chaque segment, des **parapodes** (*extensions latérales locomotrices*) où sont implantées des **soies chitineuses**. Ils sont *presque tous marins* et les sexes sont séparés (**gonochorisme**).

A\ Morphologie externe.

La taille varie de quelques centimètres jusqu'à trois mètres. Le corps comprend **trois parties** :

- La région céphalique (ou prostomium) :

Cette région **porte des appendices sensoriels** comme les **yeux** (au nombre de deux) *rudimentaires* et *sessiles*. Ils portent aussi des **antennes**, des **palpes** (une paire). Les antennes et palpes assurent les fonctions tactiles et gustatives.

- Le soma :

Le soma comprend un *grand nombre de segments identiques*. Il commence par un métamère particulier : le **péristomium**. Ce dernier provient de la fusion des deux premiers métamères. Il **entoure la bouche** qui s'ouvre légèrement sur la face ventrale. On y trouve **quatre cirres tentaculaires sur la face dorsale** (à gauche et à droite). L'innervation de ces tentacules et des cirres est assurée par un ganglion de la chaîne ventrale.

- La région caudale ou pygidium :

C'est en avant du pygidium que les nouveaux métamères se forment. Le pygidium porte un **anus en position terminale** et **deux grands cirres**.

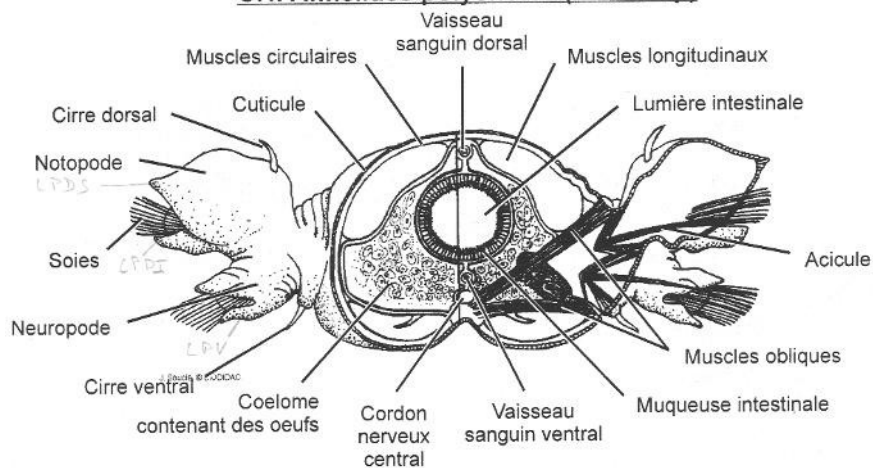
Les **parapodes** sont constitués de **deux rames** :

- Le notopode (rame dorsale) comprend un **mamelon sétigère** qui porte les soies. Ce dernier est encadré par **deux languettes parapodiales** (une dorsale inférieure et une dorsale supérieure). Dorsalement, on trouve un **cirre dorsal**.
- Le neuropode (rame ventrale). Cette rame est constituée d'un **mamelon sétigère plus développé que le précédent** : on a ainsi une **languette parapodiale ventrale**. Le neuropode va porter un **cirre ventral**.

Les rames sont soutenues par un **acicule**.

B\ Cœlome, métamérie et tégument.

C.T. Annélides polychètes (Nereis sp)

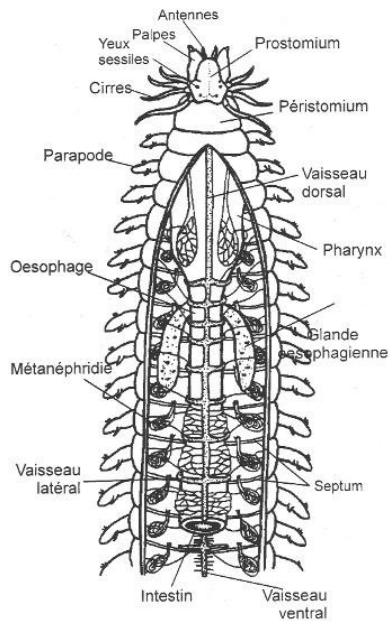


Chaque métamère est constitué de **deux vésicules cœlomiques**. Celles-ci sont en contact dans le plan médian par leurs deux feuillets splanchnopleuraux. Cet accollement donne le **mésentère**. Les *parois cœlomiques de deux métamères consécutifs sont accolées et forment un dissépiment*. La paroi du corps est formée d'une **cuticule** constituée de **deux couches cutinisées**. Elles sont **striées et perpendiculaires**.

Sous la cuticule, on trouve un **épiderme monostratifié** et une membrane basale d'importance variable. Cet épiderme renferme des cellules à mucus utilisées chez les espèces tubicoles pour synthétiser un tube membraneux ou calcaire.

C\ L'appareil digestif.

L'appareil digestif commence par une bouche qui porte intérieurement une **trompe dévaginable** qui peut être **inerte ou armée** chez les espèces prédatrices. Dans ce dernier cas, on aura **apparition de mâchoires à l'extrémité de la trompe** et de **paragnathes sur les côtés**.

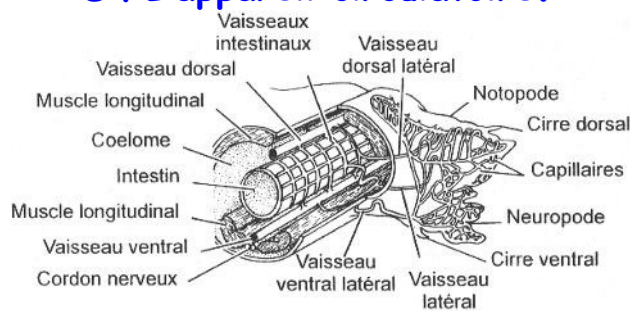


**Anatomie interne polychète errant
(vue dorsale)**

Les **mâchoires** servent à la capture. Une fois la proie attrapée, la **trompe** s'invagine et les **paragnathes** vont triturer cette proie.

Cet appareil se continue par une **cavité buccale** avec des **glandes salivaires**, puis un **œsophage**, un **intestin** (rectiligne) qui débouche à l'extérieur par un **anus** au niveau du **pygidium**.

D\ L'appareil circulatoire.



**Polychète errant
circulation sanguine**

L'appareil circulatoire est **clos**, composé de **deux vaisseaux médians** (un dorsal et un ventral) réunis dans chaque segment par une paire de **anses vasculaires**. Dans le **tronc dorsal**, le **sang circule d'arrière en avant** et c'est l'inverse pour le tronc ventral. Chez beaucoup de polychètes, le **sang est coloré en rouge** par des substances oxydables comme la **chlorocruorine** et/ou l'hémoglobine.

E\ L'appareil respiratoire.

La **respiration** est surtout **cutanée** et se fait *particulièrement au niveau des parapodes*. Chez certaines formes, il existe des **branchies** (exemple : l'arénicole) ou des **extensions en panache** rencontrées chez les sabelles et les serpules.

F\ L'appareil excréteur.

La communication entre le coelome et le milieu extérieur se fait par les **néphridies**, au nombre d'une **paire par segment**. Chez les **larves**, les néphridies sont absentes, précédées par des **protonéphridies**. Chez les **adultes**, les **néphridies** comprennent un **pavillon cilié** ouvert dans la cavité coelomique (= **néphrostome**). Du pavillon part un **petit canal glandulaire** qui traverse le dissépinement : **chaque néphridie chevauche deux segments consécutifs**. Ce canal glandulaire s'élargit pour donner une **vessie** qui débouche à l'extérieur (au niveau du segment n+1) par le **néphridiopore**.

Chez de nombreuses espèces, le néphrostome ne forme pas de pavillon et est donc fermé. Quand ce **pavillon est absent**, on parle alors de **néphridium**. D'autres organes participent à l'excrétion comme la **région postérieure de l'intestin** et le **tissu chloragogène**.

G\ Système nerveux et organes des sens.

Chez les polychètes errantes, on trouve de nombreux organes :

- **Tactiles** : situés au **niveau des tentacules** et des **palpes céphaliques**.
- **Nucaux** : situés à la **base du prostomium**, chargés d'**apprécier la qualité de la nourriture**.
- **Yeux** : situés au niveau de la **région céphalique** ou dans d'autres régions du corps. Ces yeux sont plus évolués que ceux des planaires. Le tégument à ce niveau est transparent, permettant ainsi l'entrée de lumière.

Le système nerveux est composé d'une **succession de ganglions**. Les premiers ganglions (**cérébroïdes**) sont **soudés** et forme une **masse unique**. Ils vont innervier *les organes sensoriels céphaliques* (palpes, tentacules, yeux et organes nucaux). Les **ganglions sont sur la face dorsale**. Il se forme à l'arrière des ganglions céphaliques un **collier péri-œsophagien** à la suite duquel on trouve le **ganglion sous œsophagien**, situé **dans le péristomium, sur la face ventrale**. Ce dernier vient de la **soudure des ganglions nerveux des deux premiers métamères**. Il en part la **chaîne nerveuse**, constituée de **deux cordons nerveux longitudinaux**. Sur ces deux cordons, on trouve, dans chaque métamère, une **paire de ganglions réunis par de petites commissures**.

Chez les **formes primitives**, la chaîne nerveuse centrale est constituée de quatre cordons : on parle alors de **disposition tétraneure**.

H\ L'appareil reproducteur.

Les polychètes sont, pour la plupart, **gonochoriques**. *Les organes génitaux ne sont pas bien différenciés. Les gonades sont de simples différenciations du revêtement péritonéal du cœlome (la splanchopleure). Les produits génitaux tombent dans le liquide cœlomique.* Chez le mâle, on obtient des **spermatogonies** et des **ovogonies** chez la femelle. Chez les mâles, les *spermatogonies se multiplient et forment une masse glandulaire. Ces dernières seront libérées à l'extérieur par des canaux cœlomoductes.* Quand ces cœlomoductes sont absents, les spermatogonies utilisent les canaux néphridiens ou bien, sont libérées par rupture du tégument.

I\ Reproduction et développement.

La **fécondation est externe**. La majorité des polychètes est **ovipares** mais il existe quelques formes vivipares. La maturité sexuelle s'accompagne de modifications morphologiques et comportementales : c'est la **métamorphose** ou **épitoquie**. Cette métamorphose entraîne des modifications surtout dans les segments postérieurs où sont stockés les gamètes. Les parapodes de ces segments développent des dilatations lamellaires. Les soies vont se développer. Dans la région antérieure, il y a aussi des modifications comme une **hypertrophie des yeux** et une **régression des palpes et des antennes**. L'épitoquie s'accompagne aussi de modifications comportementales : il y a un **changement complet du milieu de vie**. Par exemple, la Néréis, benthique, devient pélagique et l'on va parler d'Hétéronéréis.

Les mâles et les femelles nagent, remontent à la surface et libèrent les produits génitaux (c'est l'**essaimage**). L'essaimage s'effectue à des **périodes bien déterminées** (avec les phases lunaires). Après la reproduction, les mâles meurent. Les **œufs** vont se segmenter, donner une

gastrula, puis, une **larve trocophore ciliée**, en forme de toupie, nageuse et se nourrissant de petites proies.

L'appareil digestif est différent : on a une bouche, un estomac et un **intestin qui s'ouvre à l'extérieur au niveau de l'anus**. Le **mésoderme est indifférencié** ; au niveau de l'intestin, il va donner le **mésoblaste par bourgeonnement** ; les **îlots mésodermiques se creusent en vésicules coelomiques**.

Chez les polychètes, il peut aussi exister une multiplication asexuée qui est présente sous diverses modalités :

- **Gemmiparité** : il y a *formation de bourgeons* qui, chacun, *donneront un individu adulte*. Le bourgeonnement peut se situer à différents endroits du corps d'un adulte.
- **Scissiparité** : des *fragments d'un adulte* pourront *régénérer les parties manquantes*. Exemple, *Dodecaceria* : chaque métamère peut donner un animal entier.
- **Schizogamie** : elle est observée *chez les polychètes libérant la partie postérieure du corps*. La partie antérieure va alors bourgeonner et **régénérer un individu entier**.

J\ Ecologie et systématique.

Chez les polychètes, il existe des **formes libres**, **ectoparasites**, **endoparasites** ou bien **commensales** (vivant associées avec d'autres espèces, mais pas parasites).

- **Ectoparasites** : ces formes parasitent les branchies de homards.
- **Endoparasites** : ces formes parasitent d'autres polychètes.
- **Commensales** : ces formes s'associent avec des annélides ou bien des éponges.
- **Libres** : ces formes sont marines ou d'eau saumâtre. Il existe quelques formes d'eau douce (dulçaquicoles).

On va ensuite diviser les polychètes en formes **errantes** et **sédentaires** :

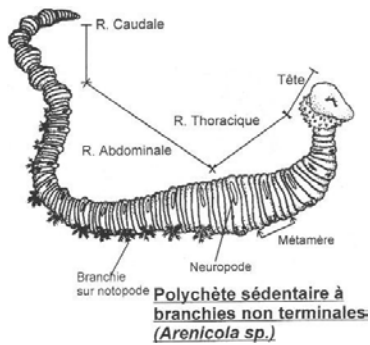
Le groupe des polychètes errantes : 17 familles.

Dans ce groupe, on trouve les **Néréidés**. Elle est caractérisée par un **grand prostomium**, **quatre yeux**, **deux antennes** (ou tentacules) et **deux palpes**. On y trouve une **trompe dévaginable** avec **deux mandibules** et de **petites dents cornées**.

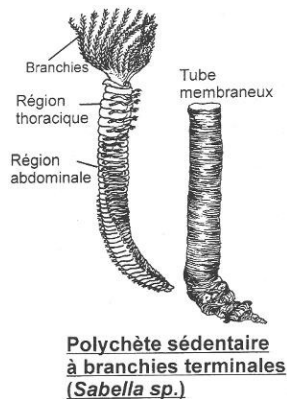
L'exemple des Aphroditidés : ils sont caractérisés par un **corps large et court**. Sur la face dorsale se différencient des **cirres en forme de lame aplatie**, « les **élytres** ».

Le groupe des polychètes sédentaires :

Ils ont deux régions au niveau du métasoma (région moyenne) : un **thorax** et un **abdomen**. La tête est souvent petite et donc peu différente du reste du corps. Les **parapodes de la région moyenne sont dépourvus d'ascicules**. Sur ces parapodes, on a des **soies en crochet au niveau des rames ventrales**. On trouve aussi des **branchies réparties selon une région déterminée** (selon l'espèce). La **trompe est sans mâchoire**. Ils vivent le plus souvent **dans des tubes** (espèces tubicoles) et ce groupe comprend 21 familles.



Exemple des Arénicolidés. Ils ont des **parapodes biramés** ; les **branchies** sont situées sur les **segments abdominaux des parapodes** (exemple : *Arenicola marina* qui vit dans le sable, dans un tube en « U »).



Exemple des Sabellidés. Cette famille présente de **longs filaments branchiaux** formant une couronne tentaculaire qui peut être soit circulaire, soit en spirale. Ils vivent dans des **tubes membraneux**, souples et implantés verticalement dans le sable.

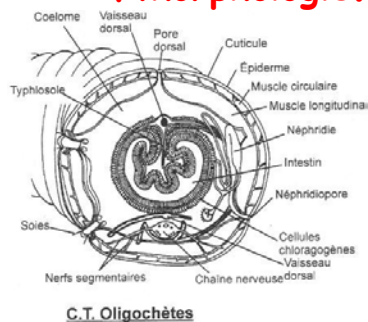
Exemple des Serpulidés. Ils vivent dans des **tubes calcaires souvent spiralés**. Ces tubes sont **généralement fixés sur des coquilles de bivalves**.

II\ La classe de clitellates.

Le groupe des clitellates comprend les **oligochètes** et les **achètes**. Les espèces de cette classe **n'ont plus de parapodes**. Ils présentent un renflement glandulaire se développant en période de reproduction, dans le tiers antérieur du corps : c'est le **clitellum**. Ce dernier se situe *sur la face dorsale*. Chez les lombrics, le clitellum occupe du 33^{ème} au 38^{ème} anneau (qui sont dans ce cas de vrais métamères). Les clitellates sont des **hermaphrodites à développement direct** s'effectuant dans un **cocon**, sans larve trocophore.

A\ Les Oligochètes.

1\ Morphologie.



La taille des oligochètes est variable : de quelques centimètres à 3 mètres dans

certains cas. Par exemple, le **lombric** est généralement constitué d'une centaine de métamères. **L'annélation externe correspond à la métamérie**. On y retrouve les différentes parties du corps des polychètes (**prostomium, péristomium, soma, pygidium**). Contrairement aux polychètes, les **soies** sont insérées dans le **tégument**. **Chaque métamère porte quatre faisceaux de soies**.

2\ Le tégument.

Le tégument des oligochètes comprend un **épiderme simple**, constitué de trois catégories cellulaires : des cellules épithéliales, des cellules muqueuses (mucocytes), des **cellules sensorielles**. L'épiderme est recouvert d'une **fine couche cuticulaire** qui donne des reflets irisés au lombric.

Il y a modification du tégument au moment de la reproduction. Ce dernier présente un *renflement glandulaire* dû à la multiplication des cellules muqueuses de l'épiderme.

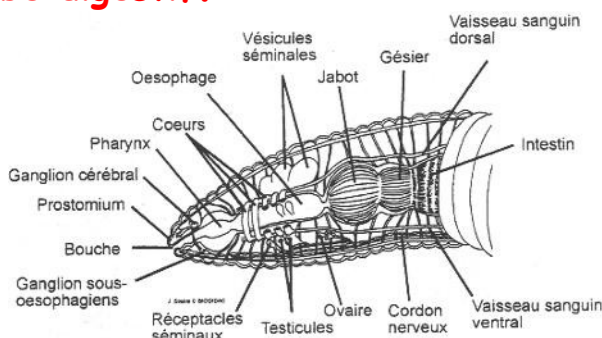
Sous cet épiderme, on trouve **deux couches de fibres musculaires superposées** (une *circulaire* et une *longitudinale*). Ces couches de fibres musculaires sont réparties en **quatre champs** : un *dorsal*, un *ventral* et deux *latéro-ventraux*.

3\ Le coelome.

Le liquide coelomique, blanchâtre, contient des **coelomocytes** à *fonction phagocytaire* (défense contre les bactéries) ou à *fonction nutritionnelle*. Le coelome communique avec la surface corporelle par l'intermédiaire de *pores coelomiques médio-dorsaux*.

Au niveau du tissu péritonéal, situé autour du tube digestif, on trouve des cellules de grande taille constituant le **tissu chloragogène**. Ces cellules sont chargées du **métabolisme du glycogène** et vont intervenir dans *l'excrétion des déchets azotés*.

4\ Le tube digestif.



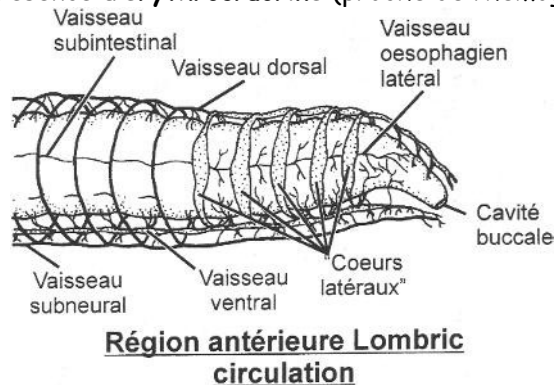
Après la **bouche**, on trouve une **région orale** située du *segment 1 à 3*, puis, un **pharynx** (*segments 4 et 5*). Ce pharynx comprend un *renflement dorsal dévaginable* (le **bulbe pharyngien**). Ensuite vient un **œsophage** dans les *segments 6 à 13* qui présente des différenciations suivant le mode d'alimentation. Chez les **oligochètes limicoles**, la **paroi interne sera ciliée**. Chez les **terricoles**, l'**épithélium est non-cilié**.

Après l'œsophage, chez les **terricoles**, on trouve un **jabot** (*des segments 14 à 16*) qui sert à *stocker les aliments*, succédé par un **gésier** (*segments 17 à 19*) permettant la *trituration des aliments*. Après le gésier, on a un **intestin rectiligne** se terminant par un **anus**. Cet intestin peut présenter une *invagination médio-dorsale* appelée **typhosole**. Le typhosole augmente la surface intestinale et est rempli par un tissu chloragogène.

5\ L'appareil circulatoire.

L'appareil circulatoire des oligochètes est *semblable à celui des polychètes (clos)*. On y trouve un vaisseau dorsal et un vaisseau ventral. Ces deux vaisseaux sont **reliés par des anses latérales** (au niveau de chaque *métamère*). Dans la *région antérieure*, les anses vont être **contractiles** et prendre le nom de « **cœurs latéraux** ». Ces « cœurs » se contractent

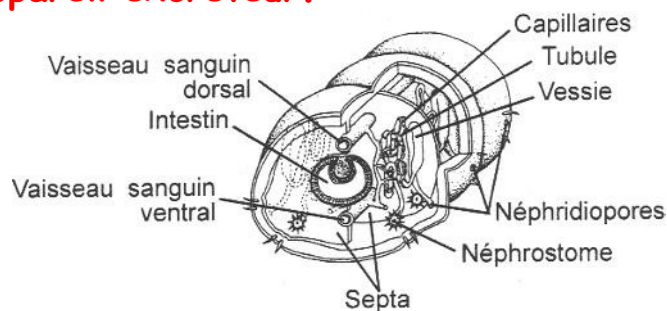
rythmiquement mais de manière asynchrone. La contraction favorise le mouvement du flux sanguin. Chez les oligochètes primitifs, le sang est incolore. Quand on passe à des espèces un peu plus évoluées, on note la présence d'**érythrocrurine** (proche de l'hémoglobine).



6\ L'appareil respiratoire.

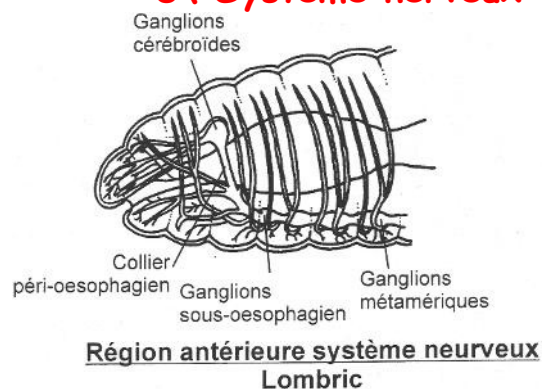
La plupart des oligochètes n'ont **pas d'appareil respiratoire différencié**. Les échanges gazeux se font alors sur toute la surface du corps, par simple diffusion pour les espèces de petite taille. Pour les espèces de grande taille, l'épiderme sera traversé de petits capillaires.

7\ L'appareil excréteur.



Cet appareil est **semblable à celui des polychètes**, avec **une paire de néphridies par métamère**. Les canaux sont plus longs que chez les polychètes.

8\ Système nerveux et organes sensoriels.

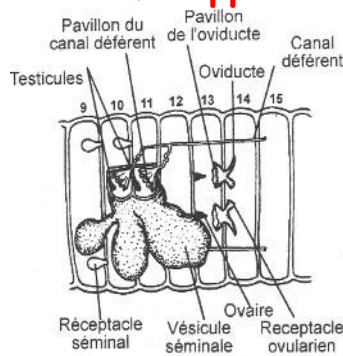


Le système nerveux rappelle en tous points celui des polychètes sauf le **cerveau qui est plus simple et les organes sensoriels bien différenciés qui sont absents**.

Au niveau de la chaîne nerveuse ventrale, **de chaque ganglion partent trois paires de nerfs segmentaires** : une paire vers la région antérieure de chaque segment et deux paires vers la partie postérieure du même segment. Les nerfs segmentaires assurent l'innervation de l'épiderme.

On note la présence de fibres géantes, multicellulaires, dont la taille peut atteindre l'équivalent de la longueur de l'animal.

9\ L'appareil reproducteur.



App. Génital Oligochètes

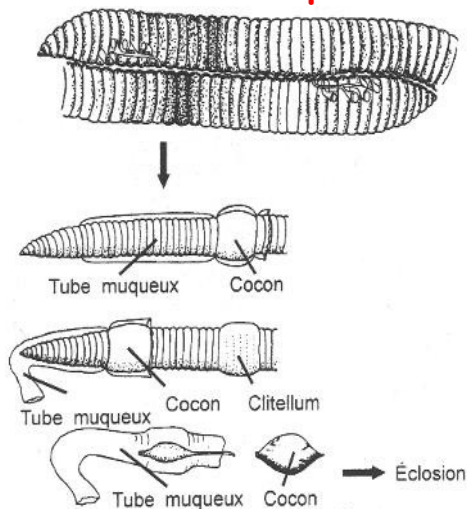
Les glandes sont nettement différenciées et localisées dans la région antérieure du corps, en avant du quinzième métamère.

L'appareil femelle comprend deux minuscules ovaires situés au niveau du dissépiment (*métamères 12-13*). Les ovaires lâchent leurs produits de sécrétion dans des oviductes captés par des pavillons femelles, situés dans le dissépiment 13-14. L'orifice de ponte s'ouvre au niveau du quatorzième segment.

Il existe quatre réservoirs séminaux, les spermathèques, au niveau des *métamères 9 et 10*. Les spermathèques interviennent lors de l'accouplement et de la ponte.

L'appareil mâle est constitué de deux paires de testicules situés dans les *segments 10 et 11*. Sous les testicules sont présentes d'énormes vésicules séminales où les *spermatogonies* vont *maturer*. Après la maturation, les spermatozoïdes obtenus vont utiliser deux canaux déférents s'ouvrant par des orifices mâles, au niveau de *segment 15*.

10\ La reproduction sexuée chez les Lombrics.



Reproduction - Lombric

L'accouplement a lieu chez deux individus *protérandriques*. Ces deux animaux s'unissent tête-bêche par la face ventrale du clitellum : la région génitale de chaque individu coïncide. Les spermatozoïdes de l'un vont passer dans les réceptacles séminaux de l'autre (et inversement). L'accolement est favorisé par la sécrétion de mucus (au niveau du clitellum).

Une fois l'échange de spermatozoïdes réalisé, les deux individus vont se séparer. Chacun synthétise un cocon au niveau du clitellum où sont déposés les ovocytes. Le lombric va reculer en laissant le cocon sur place. Une fois ce cocon au niveau des réceptacles, les spermatozoïdes y seront libérés : c'est la fécondation.

Le développement est direct : l'embryon donne un jeune ressemblant à l'adulte.

Il existe chez les oligochètes asexués, une multiplication par scissiparité (chez les limicoles), se faisant par deux phénomènes : architomie ou paratomie.

11\ Biologie des Oligochètes.

La plupart des oligochètes se déplacent par reptations péristaltiques : par des contractions alternatives des muscles longitudinaux et transversaux. Les soies jouent un rôle d'accrochage.

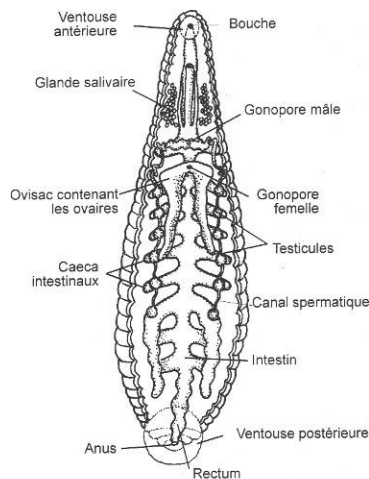
Les oligochètes ont la possibilité de passer dans des orifices de diamètre inférieur à celui de leur corps, grâce à la **mobilité du liquide coelomique**.

12\ Régime alimentaire.

Les Oligochètes *se nourrissent de détritits organiques variés*. Ils peuvent être aussi bien marins que d'eaux douces ou terrestres, dans des sols humides. Il existe quelques espèces prédatrices et quelques espèces parasites. On peut distinguer trois catégories d'oligochètes :

- Les Oligochètes Limicoles nageurs : ils vivent sur des *plantes immergées*.
- Les Oligochètes limicoles fouisseurs : ils vivent *dans les sédiments* des lacs et des rivières.
- Les Oligochètes strictement terrestres : ces formes ont un rôle important dans la formation des sols : *rôle mécanique et chimique*. On estime la quantité de lombrics par hectare à une tonne (par hectare). Ils peuvent ingérer 200 à 300 tonnes de terre par an. Ils produisent la plus grande quantité d'humus recouvrant la terre. Ils ont aussi un rôle d'oxygénation et de drainage des sols.

B\ Les Achètes.



Anatomie - Achètes

Les achètes sont **majoritairement représentés par les sang-sues**. Ces formes peuvent être **libres ou ectoparasites**. On les trouve principalement en eau douce. Il existe quand même quelques formes marines et terrestres.

1\ Le cas de *Irude medicinalis*.

Cette espèce ne possède **ni parapode ni soie**. Le **nombre de segments métamérique est fixe (33)**, auquel on *rajoute le prostomium*. Les *anneaux externes ne correspondent pas à la métamérie interne* : on observe 102 anneaux externes chez la sang-sue.

La région antérieure porte les **yeux, rudimentaires (cinq paires)**, sur le premier anneau des cinq premiers métamères. Les *métamères 1 et 2 n'ont qu'un anneau externe*. Le *troisième en possède deux*. Les *4 et 5 en ont trois chacun*. On trouve aussi **une ventouse buccale en arrière du prostomium** et **une ventouse à l'extrémité postérieure** du corps qui est **non perforée**.

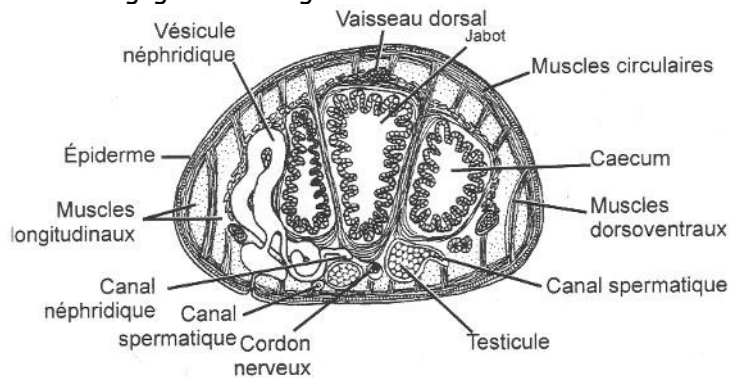
On trouve un *clitellum moins marqué que chez les oligochètes*. Ce clitellum est situé *du neuvième au douzième métamère*. Là, s'ouvrent les orifices génitaux mâles et femelles en position médio-ventrale. Les *orifices mâles sont sur le métamère 10 (M10)* et les *orifices femelles sont sur M11*.

2\ Le tégument.

L'**épiderme** est **mono-stratifié**, recouvert par une **cuticule plus ou moins épaisse**, selon la région du corps et selon l'espèce. La cuticule s'interrompt au niveau d'un petit orifice correspondant aux **glandes cutanées**.

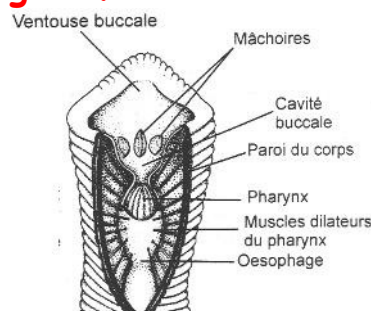
Le **derme** est formé d'un tissu conjonctif. Sous le derme, on trouve une **musculature très développée**, présente sous trois formes : **circulaire, longitudinale et dorso-ventrale**.

Le **cœlome** est **réduit** car un tissu de remplissage (**tissu botryoïdal**) est présent : il a le même rôle que le tissu chloragène des oligochètes.



C.T. Achètes

3\ L'appareil digestif.



Région antérieure - Achètes
App. Buccal

L'appareil digestif est composé de :

- Une **partie antérieure**, d'origine ectodermique, avec une **cavité buccale**, le **pharynx** et l'**œsophage**.
- La **partie moyenne** correspond à l'**estomac**, d'origine endodermique. On y trouve des **cæcums digestifs** dont la taille croît de M7 à M18.
- La **partie postérieure**, d'origine endodermique, est la partie où **se déroule la digestion**. Elle est **terminée par le rectum** (ou **canal rectal**), débouchant à l'extérieur par un **anus** en position dorsale, dans M26.

4\ L'appareil circulatoire.

Quand l'appareil circulatoire est présent, il forme un **système vasculaire clos**, à parois contractiles. Il est constitué d'un **vaisseau dorsal** dans lequel le sang circule d'arrière en avant, et d'un **vaisseau ventral**. Les deux vaisseaux sont réunis aux extrémités par de nombreuses **anses vasculaires**.

Certains achètes n'ont pas d'appareil circulatoire ; c'est alors le **système cœlomique** et la **lymphe** qui vont jouer le rôle du sang.

5\ L'appareil respiratoire.

Il n'existe **pas d'appareil respiratoire**. Les échanges gazeux se font *au travers de l'épiderme*. Certaines espèces parasites de poissons marins ont des *replis cutanés fonctionnant comme des branchies*.

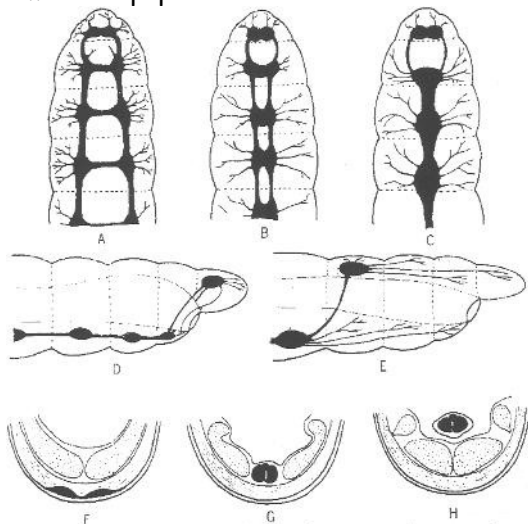
6\ L'appareil excréteur.

L'appareil excréteur comporte une *quinzaine de paires de métanéphridies* qui s'ouvrent à l'extérieur au niveau de **néphridiopores**, situés ventralement, *au niveau de M7 à M23*.

7\ Le système nerveux et organes sensoriels.

Le système nerveux est plus complexe que chez les polychètes et les oligochètes. Il est constitué de 34 paires de ganglions répartis ainsi : les *sic premières paires fusionnent* pour donner le « cerveau » et une masse nerveuse sous-œsophagienne. Les 21 paires de ganglions suivants sont réparties le long de la chaîne nerveuse. Les sept dernières paires de ganglions fusionnent en une masse nerveuse pygidiale.

Les organes sensoriels sont relativement réduits. On trouve des yeux céphaliques, un grand nombre de papilles sensibles et des cellules tactiles.



Morphologie et position du Système nerveux chez les annélides

De A à C, on observe une **fusion des ganglions puis des cordons nerveux**.

En D et E, on voit les *ganglions cérébroïdes* qui reculent en arrière du prostomium, vers M3. Les *ganglions sous-œsophagiens* sont repoussés dans M4. On a aussi un développement des prolongements des chaînes nerveuses vers l'avant pour les organes sensoriels et les muscles.

De F à H, on observe un **enfoncement de la chaîne nerveuse à l'intérieur de l'animal**. Primitivement (en F), la chaîne nerveuse est sous-épidermique ; elle s'enfonce ensuite (en G) dans les muscles longitudinaux (sous-dermiques) et finie (en H) dans la chaîne de la cavité cœlomique.

8\ Les appareils génitaux.

- L'appareil male.

L'appareil male se compose d'un *nombre variable de testicules selon les espèces*. Chez *Irudo*, on trouve dix paires de testicules de M12 à M21. Ces testicules sont reliés par de *longs spermiductes longitudinaux*. Ils s'élargissent en **vésicules séminales** pour se terminer en **canal éjaculateur** (un seul orifice male).

- L'appareil femelle.

L'appareil femelle est constitué d'une **paire d'ovaires** qui sont contenus **dans des ovisacs**. C'est là que les cellules germinales se forment. De ces ovaires partent **deux oviductes courts**, débouchant dans **deux utérus**. Ces deux derniers confluent dans un **vagin** qui s'ouvre à l'extérieur par un **pore génital unique** (M11).

9\ Les différents ordres d'Achètes.

L'ordre des Acanthobdelliformes.

Dans cet ordre, on ne trouve qu'une seule espèce : *Acanthobdella peledina*. Elle est parasite de poissons salmonidés (truites, saumons) du lac Baïkal. Cette espèce possède des caractères communs avec les oligochètes, comme la présence de soies sur le corps et l'absence de ventouse antérieure.

L'ordre des Rhyncobdelliformes.

Cet ordre regroupe les sang-sues à trompe **dévaginables**. Toutes les formes sont **aquatiques**. On peut distinguer **deux familles**. La famille des *Glossiphoniidés* comprend des espèces, toutes parasites de mollusques ou d'amphibiens. La seconde famille, celle des *Pissicolidés* comprend des individus parasites de poissons.

L'ordre des Gnathobdelliformes.

Cet ordre regroupe des sang-sues **aquatiques ou terrestres** présentant **trois mâchoires dentées** au niveau du pharynx. On y trouve *Irudo officinalis*.

L'ordre des Pharyngobdelliformes.

Ces individus sont d'eaux douces ou terrestres de milieux humides. Ils sont presque tous **prédateurs**. Leur pharynx est long, **sans mâchoire**.

10\ Biologie et Ecologie.

Il n'existe pas de **multiplication asexuée chez les achètes**. La fécondation sexuelle est soit **réciproque**, soit **unilatérale** (= autofécondation). Les **œufs** fécondés sont pondus dans un **cocon** selon la même modalité que chez les oligochètes. Le cocon contient un liquide « albumineux » servant de nourriture à l'embryon.

- Régime alimentaire.

Il existe de nombreuses formes parasites ou prédatrices. Pour les formes parasites, on parle de **parasitisme temporaire** car ces sang-sues se détachent de l'hôte, une fois le repas terminé. Elles sont encore utilisées en chirurgie réparatrice pour relancer la circulation veineuse dans les membres accidentés (elles créent un appel du sang).

III\ les Pogonophores.

L'embranchement des annélides comprend en plus un autre groupe, les **pogonophores**, uniquement constitué d'espèces (peu nombreuses) cantonnées aux fonds abyssaux.

A\ Morphologie externe.

Les **pogonophores** ont souvent une **forme de fil fin** (inférieur à 1mm) d'une longueur d'environ 8cm. Certaines espèces peuvent mesurer jusqu'à 2,5mm de diamètre pour 30cm de long. On a même trouvé un individu de 1,5m de long et de 5cm de diamètre.

Ces animaux **vivent dans des tubes** et possèdent des **couleurs vives et contrastées**. La *partie antérieure* porte de nombreux *tentacules garnis de pinnules*. Cette partie avant est appelée le « **prosoma** ».

La partie moyenne (le **mésosome**) et la partie terminale (le **métasoma**) portent des *papilles* et des *plaquettes chitineuses* que l'animal utilise pour se déplacer dans son tube.

B\ Morphologie interne.

Le **système nerveux est cutané** ; il n'y a **pas d'organes des sens** ; le **système circulatoire est clos** et *formé de deux vaisseaux* (un dorsal et un ventral). *Dans le vaisseau dorsal, le sang circule d'avant en arrière.*

Ces animaux sont **gonochoriques**. La fécondation se fait dans le tube de la femelle. Les œufs se développeront dans la partie antérieure du tube.

Les pogonophores sont caractérisés par l'**absence de tube digestif** bien que non parasites. Deux hypothèses existent pour expliquer le mode d'alimentation :

- Il y aurait absorption, *au niveau des cellules épithéliales du tégument, de substances dégradées par les bactéries* qui vivent en contact avec eux.
- Il y aurait une *digestion externe* de particules qui seraient ensuite *récoltées par les tentacules pinées*. Toutefois, aucune glande enzymatique pour la digestion externe n'a pu être mise en évidence.

Les Métazoaires Triploblastiques Cœlomates.

L'embranchement des Mollusques.

Cet embranchement compte *plus de 130 000 espèces* et occupe donc une place importante dans le règne animal par le nombre (d'espèces) et par le rôle écologique. Certaines espèces servent de nourriture pour l'Homme. Ce sont les seuls invertébrés avec les crustacés à être consommés (très fréquemment).

On distingue **sept classes de mollusques** : les **Monoplacophores**, les **Aplacophores**, les **Polyplacophores**, les **Scaphopodes**, les **Lamellibranches** (= Bivalves), les **Gastéropodes** et les **Céphalopodes**. Nous verrons en détail les trois dernières classes.

Chez les mollusques, on parle de **radiation adaptative** car, à partir d'un ancêtre commun, une grande quantité d'espèces a évolué. **Les sept classes ont un ancêtre commun**. Ces espèces ont principalement conquis le milieu marin où l'on trouve des mollusques dans les zones de balancement de marées, dans le milieu pélagique (en pleine eau), dans les substrats meubles (comme le sable), dans les substrats durs (les rochers) et à de grandes profondeurs marines.

Seuls deux groupes se sont adaptés avec succès à l'eau douce : les gastéropodes et les lamellibranches ; et quelques gastéropodes sont même passés à la vie terrestre. On pense que ces mollusques ont été les premiers à sortir de l'eau.

Bien que les espèces de ces diverses classes soient différentes, on peut quand même définir des caractères communs à ces sept groupes.

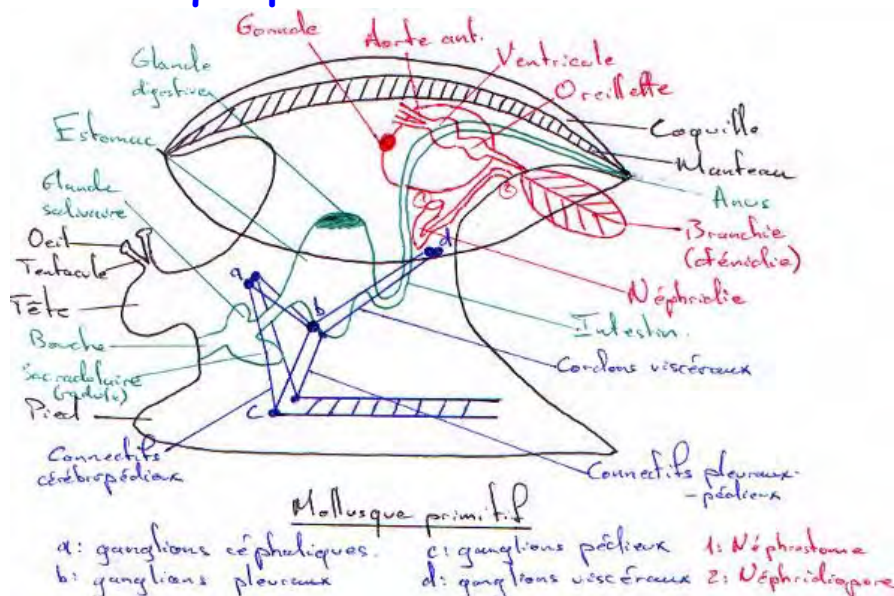
I\ Les caractères communs.

- Il n'y a **jamais de segmentation**, *sauf chez les monoplacophores*.
- Les mollusques sont tous **fortement céphalisés** avec la présence d'une tête et **d'organes sensoriels spécialisés**.
- Le **cœlome est réduit** et la paroi du corps est épaisse et musculeuse.
- La partie ventrale de la paroi du corps est transformée en un **pied musculeux** habituellement utilisé pour la locomotion.
- La partie dorsale du corps va former le **manteau** (ou **pallium**). Celui-ci *sécrète une coquille* et délimite la **cavité palléale** dans laquelle sont situées les *branchies*.
- Dans la **cavité palléale** s'ouvrent l'**anus** et tous les autres **pores excréteurs**.
- Le **tube digestif est bien développé et régionalisé**. La cavité buccale contient presque toujours un *organe tubulaire d'alimentation* (= la **radula**). Cette dernière est *armée de dents et fonctionne comme une râpe*. On trouve ensuite un **œsophage** qui est composé de régions spécialisées : *une région pour le stockage de la nourriture* et *une région pour le morcellement de celle-ci*. Il vient ensuite un **estomac associé à une paire de glandes digestives**. La partie postérieure de ce tube digestif forme *l'intestin*, souvent long et terminé par un **anus**.

- On trouve presque toujours un **système circulatoire avec un cœur bien défini**. Ce cœur est constitué d'une ou plusieurs oreillettes et d'un ventricule médian. Le sang circule dans les vaisseaux (sanguins) mais aussi dans les espaces inter-viscéraux entourant le coelome. Le pigment respiratoire est l'**hémocyanine**.
- On trouve **une paire de reins pouvant fusionner**. Ils sont en liaison étroite avec la cavité péricardique.
- Le système nerveux. On trouve un **anneau nerveux circum-entérique** (= *péri-œsophagien*). A cet anneau sont associées **deux paires de connectifs** (nerveux). Une des deux paires innerve le pied (**connectifs cérébro-pédieux**), l'autre innerve les viscères et le manteau (**connectifs cérébro-pleuraux**). Sur l'anneau nerveux et les connectifs, on trouve des ganglions (nerveux) plus de vastes réseaux nerveux sous-épidermiques.
- Les **œufs** sont généralement de **taille réduite**, avec **peu de vitellus**. La **segmentation est spirale**. La larve caractéristique des mollusques est une **larve trocophore** (pour les mollusques primitifs) ou une **larve veligère** (pour les mollusques moins primitifs). Elles sont toutes les deux très proches.

Tous ces caractères ne sont pas forcément présents en même temps dans les sept classes.

A\ Le mollusque primitif.



Ce mollusque a une **tête bien définie**, avec des **tentacules céphaliques** portant des **yeux**. La face ventrale est modifiée en **sole de reptation** : le pied. La partie dorsale (ou **masse viscérale**) est recouverte par un repli de la paroi du corps (le **manteau**) qui peut sécréter soit une **coquille** soit des spicules calcaires.

Vers l'extrémité postérieure, le manteau délimite une cavité (palléale) dans laquelle on trouve les branchies (ou **cténidies**) et l'ouverture de l'anus et des **néphridiopores**. La structure branchiale est avec un axe central, à partir duquel partent, de chaque côté, des filaments aplatis.

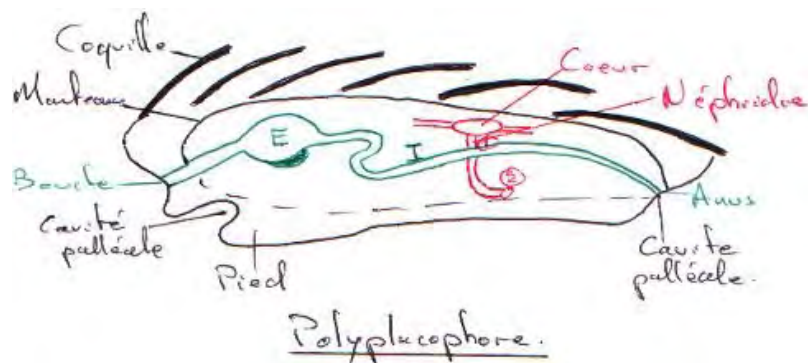
Sous la tête, on trouve l'ouverture de la bouche avec la cavité buccale, musculeuse. A ce niveau, on trouve des **glandes salivaires** qui produisent un **mucus** servant à **agglutiner les fragments de nourriture** pour faciliter le passage de cette nourriture dans l'œsophage. Il s'y ouvre un **sac radulaire**, contenant la **radula** qui est un **ruban garni de dents**, pouvant être projeté hors de la bouche et utilisé par l'animal, pour arracher la nourriture du substrat sur lequel elle se trouve.

La paroi interne de l'œsophage est tapissée de cils qui facilitent le passage de la nourriture dans l'estomac.

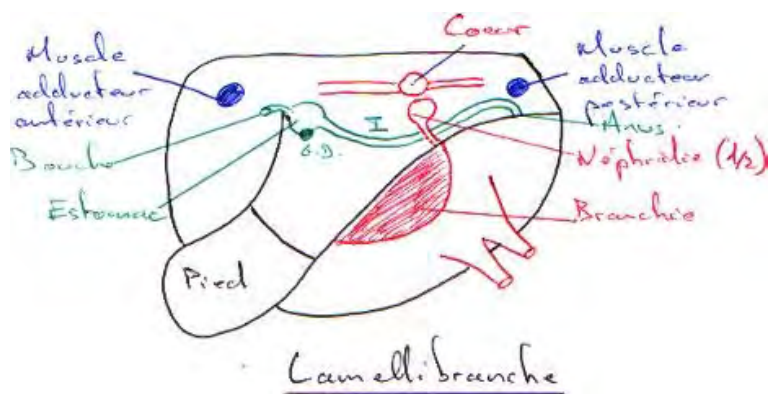
Dans l'estomac, on a une **région sclérotinisée**, où la nourriture la plus dure peut être broyée. La *cœlome* comportait deux compartiments largement communicant et dont l'un entoure le cœur et l'autre, une partie de l'intestin. Dans ce cœlome, on trouve aussi les gonades. C'est aussi à ce niveau cœlomique, que sont collectés les déchets, au niveau des **néphrostomes**. Les déchets sont libérés dans la cavité palléale par l'intermédiaire des **néphridiopores**.

B\ Les points communs entre les sept classes actuelles.

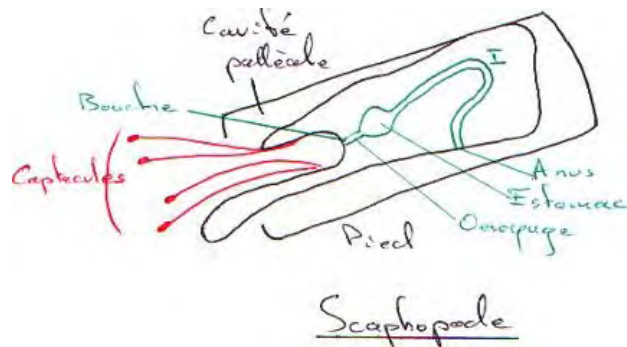
En partant de ce mollusque primitif, en aplatissant la masse viscérale et en prolongeant la cavité palléale en forme de sillon entourant le pied, on obtient la structure des polyplacophores.



Pour avoir un lamellibranche, il faut élargir le manteau, le diviser en deux moitiés symétriques : cette transformation définit alors une cavité palléale immense. La surface des branchies est beaucoup plus importante. Il faut étirer le pied vers le bas de la région antérieure. Le pied donne une lame et va pouvoir aller à l'extérieur de l'animal en passant entre les deux moitiés du manteau.



Le passage à la forme scaphopode se fait en prenant un lamellibranche, en soudant les bords inférieurs du manteau et en l'étirant en longueur (sens antéro-postérieur). On a finalement une structure tubulaire à l'intérieur de laquelle le corps va s'allonger.



Pour avoir un gastéropode ou un céphalopode, le processus est différent. La masse viscérale doit se développer en hauteur et donner une bosse. Au fur et à mesure qu'elle s'élève, elle va avoir tendance à s'enrouler. Tous les céphalopodes n'ont pas de masse viscérale enroulée ; cependant, les premières espèces de céphalopodes et la forme nautilus avaient un corps enroulé.

La différence importante entre les céphalopodes et les gastéropodes vient de la tête et du pied qui sont mieux individualisés chez les gastéropodes. Il se rapproche plus de la forme ancestrale.

C\ Quelques caractères communs aux sept classes.

Tous les **mollusques** sont des **métazoaires triploblastiques cœlomates**. Le **cœlome**, constitué au début par une paire de sacs cœlomiques, se transforme en *trois cavités communiquant entre elles*. La **cavité génitale** entoure les *gonades* ; la **cavité péricardique** entoure le *cœur* ; un **néphrocœle** entoure les *néphridies*. Les deux dernières cavités peuvent fusionner pour donner une **cavité réno-céphalique**.

La **cavité palléale** est délimitée par le **pallium**. Elle joue un rôle important chez les mollusques. Il y débouche le tube digestif par l'intermédiaire de l'anus, les néphridiopores. Cette cavité renferme le plus souvent une paire de **branchies constituées de cellules ciliées**. La vibration de ces cils entraîne un fort courant d'eau, obligatoire pour la respiration et même parfois, pour l'alimentation (surtout chez les lamellibranches).

On peut aussi trouver, dans la cavité palléale, des organes sensoriels comme les **osphradies**, qui permettent à l'animal d'apprécier la qualité de l'eau « inhalée ». On a aussi des glandes sécrétant une substance qui permet le *nettoyage de cette cavité* : les **glandes hypobranchiales**.

Cette cavité se transforme chez les gastéropodes terrestres (les Pulmonés). Elle se renferme en un sac (le « poumon ») qui communique avec le milieu extérieur par un orifice pulmonaire : le **pneumostome**. On pourra observer au niveau du manteau, une ou plusieurs soudures délimitant des ouvertures avec le milieu extérieur. On peut y trouver des prolongements tubulaires : les **siphons**.

1\ L'appareil digestif des mollusques.

Le **tube digestif** commence par une **bouche** s'ouvrant sur le **bulbe buccal**, au niveau duquel se trouve la **radula**. Celle-ci est constituée de *dents chitinisées* fonctionnant comme une râpe. La radula est enveloppée par une gaine *constamment régénérée au fur et à mesure de la vie de l'animal*.

Chez les gastéropodes, le nombre, la forme et la disposition des dents sont fonctions du régime alimentaire (*les dents sont un des caractères de la systématique de la classe des gastéropodes*).

Chez certains mollusques, on va trouver des mâchoires, par exemple, le **bec de perroquet** des céphalopodes.

Au niveau du bulbe buccal vont arriver deux glandes salivaires. La bouche se prolonge d'un œsophage puis, d'un estomac on l'on trouve l'arrivée d'une glande digestive (dans l'estomac). Il est parfois appelé « hépato-pancréas » mais ce terme est à proscrire. Il suit l'intestin qui est souvent long, débouchant dans la cavité palléale par un anus.

Un élément particulier de ce tube digestif est le protostyle qui permet la trituration et la digestion des aliments. Il se trouve dans l'intestin. Comme la radula, il se régénère au cours de son utilisation. Il a une forme de bâtonnet et a deux rôles dans la digestion :

- Un rôle chimique par l'action d'enzymes.
- Un rôle mécanique : il peut tourner rapidement sur lui-même et provoquer un écrasement.

2\ La coquille.

Cf. TP.

3\ Le système nerveux.

Le système nerveux est constitué de plusieurs paires de ganglions reliés entre eux par des commissures (pour les mêmes paires) ou par des connectifs nerveux (pour les ganglions de paires différentes).

La disposition des ganglions est particulière et dite « en triangle » (ganglions cérébroïdes, pleuraux et pédieux). Excentrés par rapport au triangle, on trouve les ganglions viscéraux reliés aux ganglions pleuraux.

Cette disposition est plus ou moins visible chez toutes les classes de gastéropodes (il peut y avoir fusion des ganglions et/ou liaisons entre ganglions). On pourra trouver une fusion totale des ganglions pour former un « cerveau ». Les céphalopodes sont les mollusques les plus évolués.

4\ L'appareil circulatoire.

L'appareil circulatoire comporte un cœur enveloppé par un péricarde. Le cœur est constitué d'un ventricule et de deux oreillettes. Chaque oreillette est en communication avec une branchie. Le sang d'une oreillette vers le ventricule avant d'aller irriguer les différents organes par l'intermédiaire des artères. Tous les mollusques ont un système circulatoire complètement clos. Dans certains cas, il peut y avoir disparition d'une oreillette (très souvent chez les gastéropodes). Le pigment respiratoire est l'hémocyanine. Il renferme du cuivre qui correspond à l'élément métallique de l'hème.

5\ L'appareil respiratoire.

L'appareil respiratoire est étroitement lié à la cavité palléale. Il est constitué de branchies qui vont être remplacées par un poumon chez les gastéropodes terrestres (les pulmonés).

Les branchies ont une forme variable. Elles constituent le lieu d'échanges respiratoires chez les mollusques aquatiques.

6\ L'appareil excréteur.

L'appareil excréteur est représenté par deux reins qui sont à l'origine de la formation des coelomoductes à paroi excrétrice. Ces coelomoductes communiquent avec la cavité péricardique et s'ouvrent à l'extérieur au niveau de la cavité palléale par l'orifice excréteur.

La communication entre rein et péricarde se trouve dans la plupart des groupes. Elle est absente chez les gastéropodes terrestres.

7\ L'appareil génital.

Les sexes sont généralement séparés chez les mollusques mais on trouve des exemples d'hermaphrodisme et quelques cas d'ambisexualité (inversion du sexe durant la vie).

Les gamètes, produits par les gonades, passent dans la cavité péricardique puis dans les canaux excréteurs (coelomoductes) pour être amenés dans la cavité palléale.

La fécondation est externe pour les lamellibranches. Il y a accouplement chez les céphalopodes et les gastéropodes.

Après la fécondation, l'œuf subit une segmentation spirale. Cet œuf donnera dans la majorité des cas une larve trocophore (libre et nageuse). Il existe quelques exceptions : la larve trocophore peut être modifiée rapidement pour former la larve veligère (avec une couronne ciliée développée → prototroche). Sur la face dorsale de cette larve se présente rapidement une coquille.

Les céphalopodes n'ont pas de développement stade larvaire libre : le développement embryonnaire a lieu chez la femelle.

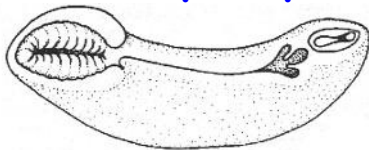
Les gastéropodes n'ont pas tous de larve veligère.

II\ Etude de classes.

Avant, les amphineures regroupaient les polyplacophores et les aplacophores. Ces deux classes sont caractérisées par l'absence de torsion du tube digestif : la bouche et l'anus sont terminaux et opposés.

Le manteau va synthétiser des plaques calcaires qui donnent la carapace ou bien des spicules. Les placophores comprennent des spicules dans leur masse viscérale.

A\ Les Aplacophores.

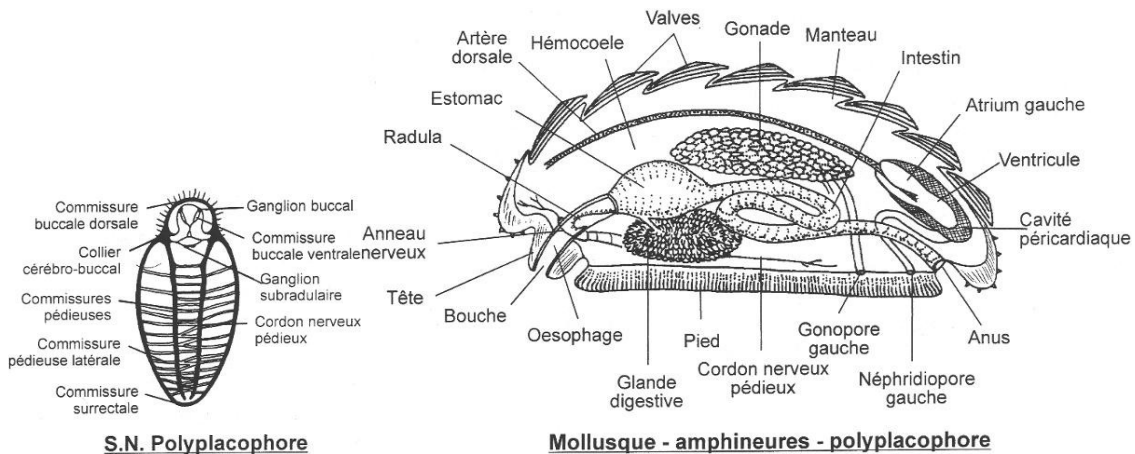


Vue externe - Mollusque
Amphineures aplacophores

Les aplacophores sont de petits animaux vivant dans le sol ou vivant fixés sur des plantes ou d'autres mollusques.

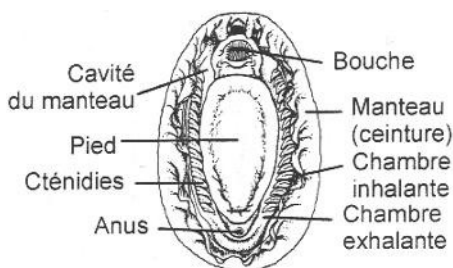
B\ Les Polyplacophores.

Un des représentants de ce groupe est le Chiton. On le trouve sur les rochers d'Atlantique ou de Méditerranée. Le corps est aplati dorso-ventralement. La coque dorsale est constituée de huit plaques calcaires articulées entre elles. Ventralement, on trouve un pied large ou sole de reptation. La cavité palléale va former le sillon palléal autour du pied. Dans le sillon, on trouve les branchies.

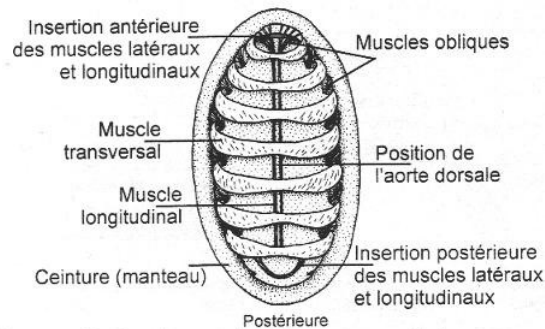


S.N. Polyplacophore

Mollusque - amphineures - polyplacophore



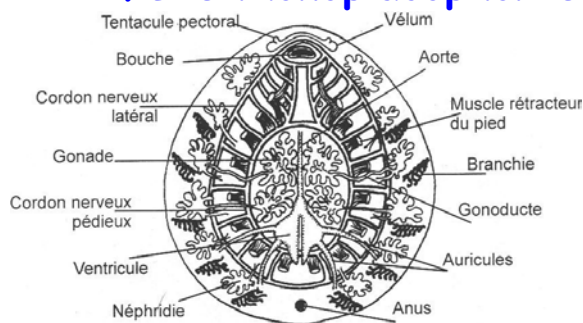
Polyplacophore - vue ventrale



Polyplacophore - musculature

Le chiton possède une gonade qui provient de la fusion des deux gonades primitives. Il reste deux conduits génitaux. La fécondation est externe et les sexes sont séparés.

C\ Les Monoplacophores.



Monoplacophore

Au début des années 50, on ne les trouvait qu'à l'état de fossiles. En 1952, on a trouvé des exemplaires vivants du genre *Néopilina* à plus de 4000 mètres de profondeur, dans le pacifique, au niveau du Mexique.

C'est un animal circulaire d'environ quatre centimètres de diamètre, montrant une symétrie bilatérale nette. *Néopilina* possède une coque dorsale mince et est caractérisé par une répétition d'un certain nombre d'organes pouvant faire penser à une métamérisation de l'animal. Dans la région antérieure s'ouvre la bouche, entourée par des palpes ciliés et des tentacules buccaux. Le pied est circulaire et contient huit paires de muscles rétracteurs.

Dans le sillon palléal, on trouve des cinq paires de branchies. Dans ce sillon débouchent six paires de néphridies et deux paires de gonades.

Chez *Néopilina*, les sexes sont séparés et la fécondation externe.

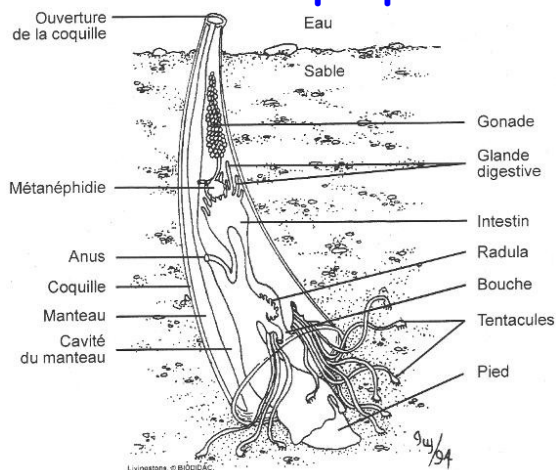
Le cœur est composé d'un ventricule et de deux oreillettes. Le cœlome est plus développé que chez les autres mollusques.

Néopilina galathea possède des caractères primitifs comme le sillon palléal. Cela le rapproche du mollusque ancestral type. Cependant, cette espèce se distingue des autres

mollusques par la répétition d'un certain nombre d'organes (musculature, néphridies, ...) : c'est une forme de métamérie.

→ Les monoplacophores sont rapprochables des annélides. On y trouve une segmentation spirale des œufs ainsi que quelques ressemblances larvaires. Ils descendraient de formes annéidiennes métamérisées. Cette hypothèse a été abandonnée : maintenant, on pense qu'ils viendraient de plathelminthes turbellariés primitifs. De nombreux travaux de taxinomie moléculaire sont effectués pour connaître la phylogénie de cette classe.

D\ Les Scaphopodes.



Les scaphopodes sont de petits animaux marins. Le plus connu d'entre eux est le dentale (*Dentalium*) qui vit dans les sables. Son corps est allongé et enveloppé d'un manteau tubulaire sécrétant une coquille en forme de cône.

Mollusques - scaphopode

On va trouver deux ouvertures :

- Une ouverture large dans la région antérieure (dans le sable).
- Une ouverture étroite, qui fait saillie hors du sédiment.

C'est par l'ouverture antérieure que s'ouvre la bouche. Celle-ci est entourée de tentacules appelés « captacules ». Le pied est peu développé et a un rôle fousseur.

La cavité palléale s'ouvre par l'orifice le plus étroit (postérieur).

Les branchies ont disparues et les échanges respiratoires se font alors au niveau du manteau.

Le système nerveux est constitué de quatre paires de ganglions (cérébroïdes, pleuraux, pédieux et viscéraux).

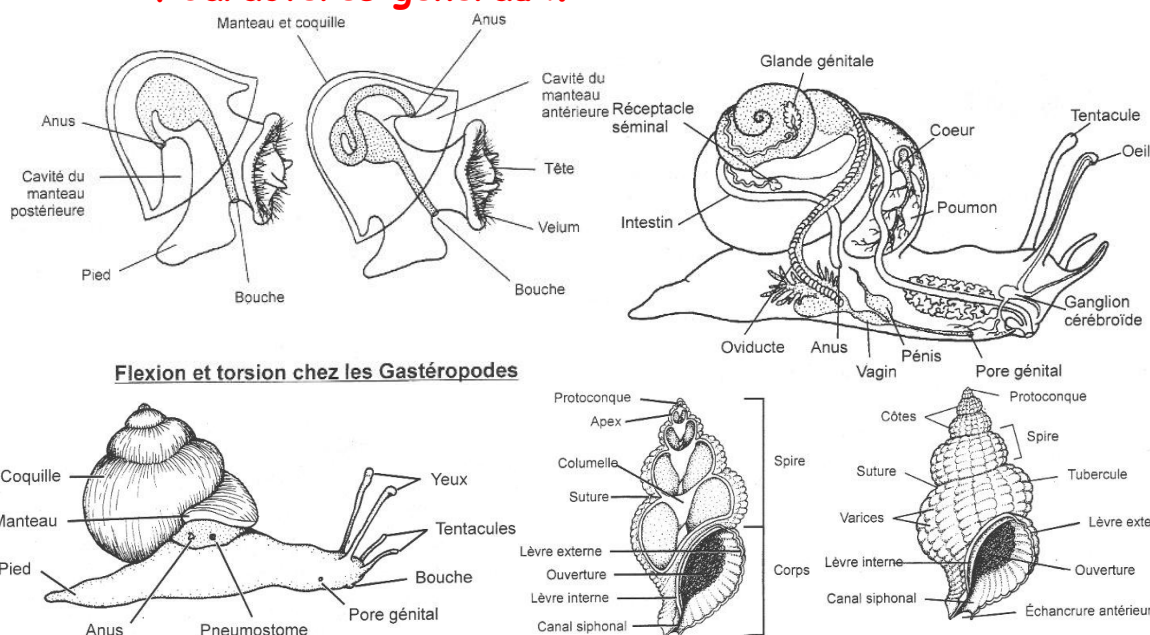
Les sexes sont séparés et l'on ne trouve qu'une gonade.

Ce groupe est rapproché des gastéropodes car leur coquille est unique et leur masse viscérale se développe en hauteur. Ils sont aussi rapprochés des lamellibranches car leur tête est réduite, leur pied fousseur et la coquille, chez la larve de scaphopode, est bivalve.

E\ Les Gastéropodes.

La classe des gastéropodes regroupe les $\frac{3}{4}$ des espèces de mollusques. Ils se distinguent par la disparition de la symétrie bilatérale au profit d'un enroulement hélicoïdal de la masse viscérale.

1\ Caractères généraux.



Flexion et torsion chez les Gastéropodes

La tête est bien individualisée, porte des organes sensoriels comme les yeux ou les tentacules.

Le pied est très musculueux et souvent appelé « sole de reptation ». Celle-ci sert à l'appui de l'ensemble de la masse viscérale qui est protégée par une coquille.

La coquille est formée par un tube conique entouré en spirale autour d'un axe rigide (la columelle). Cette columelle peut être creuse ou pleine.

Au cours du développement larvaire, on observe trois phénomènes caractéristiques de cette classe : la flexion endogastrique, la torsion et la spiralisation. La flexion endogastrique va provoquer un changement d'orientation au niveau de la cavité palléale. La torsion va amener cette cavité en avant, du côté dorsal. La spiralisation va entraîner l'enroulement de toute la masse viscérale qui se retrouve dans la coquille. Elle entraîne aussi la perte de la symétrie bilatérale. Toutefois, il faut noter que tous les gastéropodes ne subissent pas la spiralisation.

C'est la torsion qui permet la différenciation des sous-groupes de gastéropodes.

2\ La sous-Classe des Prosobranches.

Les prosobranches ont subi une torsion complète (180°). La cavité palléale se retrouve avant (elle comporte les branchies). Les sexes sont séparés ; la coquille est bien développée et peut être refermée par un opercule rigide d'origine organique ou calcaire. On y trouve 3 ordres :

- Les Archéogastéropodes. C'est le groupe le plus primitif. Les individus le composant sont tous marins, généralement herbivores. Exemples : Patelle, Haliotis, Ormeaux.
- Les Mésogastéropodes. Ce groupe est celui qui comprend le plus d'individus et c'est aussi le plus varié des Prosobranches. Ces espèces ont en général une branchie, un rein et une oreillette. Ils sont souvent herbivores mais on y trouve quand même des carnivores se nourrissant de lamellibranches (comme les bigorneaux).
- Les Néogastéropodes : Ce sont les plus évolués. Ils sont carnivores et certains possèdent un venin toxique pouvant être mortel pour l'Homme. Exemples : Buccin, Murex.

3\ La sous-Classe des Opisthobranches.

La torsion des opisthobranches est incomplète, ne dépassant pas 90°. Ils n'ont en général qu'un rein, qu'une oreillette, qu'une branchie. La coquille est réduite, souvent interne et parfois absente. On y distingue deux ordres :

- Les Tectibranches. Exemple : le lièvre de mer (genre *Apbysia*). Il y a un développement des expansions latérales du pied : les parapodies. La coquille est très mince et le manteau tend à la recouvrir. Les parapodies s'hyper-développent et fonctionnent comme des nageoires ou des ailes → aptitude à la nage. Ce lièvre de mer est un brouteur d'algue.
- Les Nudibranches. Il y a disparition totale de la coquille et de la cavité palléale. Les branchies sont remplacées par des expansions du tégument : les papilles. Ces nudibranches se nourrissent de cnidaires mais ils ne digèrent pas les cnidoblastes ; ils stockent parfois ces derniers au niveau des papilles, ce qui les protège.

4\ La sous-Classe des Pulmonés.

On trouve les pulmonés en eau douce ou en milieux terrestres ; exceptionnellement en mer. Chez les formes terrestres, les branchies disparaissent. Le plafond de la cavité palléale forme un poumon. L'ouverture de la cavité se rétrécit et elle communique à l'extérieur par le pneumostome.

L'appareil génital est hermaphrodite. Il y a accouplement et fécondation croisée mais aussi auto-fécondation possible. On distingue deux ordres :

- Les Basomatophores. Ils ont les yeux situés à la base des tentacules qui ne sont pas invaginables. La coquille est bien développée. Ce sont les pulmonés qui retournent à la vie aquatique. On les trouve en eau douce. Exemple : Planorbe dont la coquille s'enroule dans un plan.
- Les Stylomatophores. Ils sont presque tous terrestres (genre *Hélix*). La coquille extérieure est bien développée. La columelle est creuse chez l'escargot de Bourgogne. Chez les limaces, la coquille est réduite voir interne.

F\ La classe des Lamellibranches (ou Bivalves).

Cette classe ne comprend que des individus marins.

1\ Caractères généraux.

- Le manteau.

Le manteau est développé et donne deux lobes symétriques enveloppant la totalité du corps et constitue la cavité palléale. Les deux lobes pourront être libres sur toute leur surface sauf dorsalement où l'on trouve une soudure au niveau de la charnière. Ces deux lobes du manteau vont laisser une empreinte sur la face interne des valves : c'est la coquille intégripallée (empreinte continue). Chez quelques formes, il existe d'autres types d'empreintes (chez les lamellibranches fouisseurs) : une ou plusieurs soudures ventrales. Quand on a deux soudures ventrales, il y a deux orifices dont est inhalant et l'autre exhalant. Chez les fouisseurs les mieux adaptés, les orifices sont prolongés par des siphons. L'empreinte laissée est donc discontinue : c'est la coquille sinupallée.

- Les muscles adducteurs.

On trouve généralement deux muscles adducteurs (un antérieur et un postérieur) : espèce dimyaire. Ces deux muscles traversent de part en part l'animal et s'insèrent sur la face interne des deux valves. La fixation laisse des empreintes.

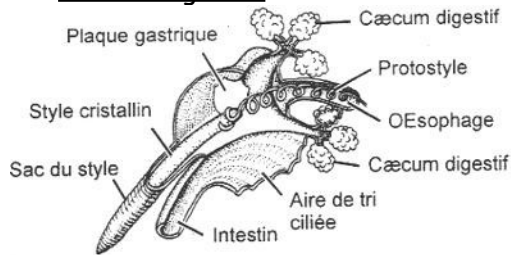
Le rôle de ces muscles est de fermer ou de rapprocher rapidement les deux valves.

Il existe quelques formes avec un muscle adducteur postérieur unique : espèce monomyaire.

- La tête.

On note une absence de tête bien différenciée. Il n'y a donc pas d'organes sensoriels céphaliques. Ces organes se retrouvent plutôt sur les bords du manteau.

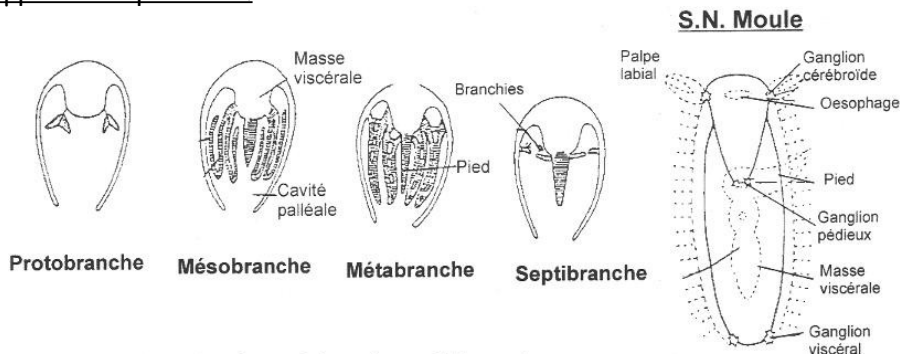
- Le tube digestif.



La partie antérieure du tube digestif ne comporte pas de mâchoire, ni de radula, ni de pharynx. La bouche est entourée par des palpes (deux paires de palpes labiaux) et s'ouvre sur l'œsophage.

T.D. Bivalves

- L'appareil respiratoire.



Position des branchies - Lamellibranches

Les branchies sont recouvertes par un épithélium cilié dont les battements créent un puissant courant entrant d'eau. Il favorise la respiration par apport d'eau oxygénée et l'entrée de petites particules alimentaires qui pourront progresser jusqu'à la bouche. Le pouvoir filtrant de ces animaux est très important. Par exemple, *Corbicula* (1 centimètre de diamètre) filtre une dizaine de litres d'eau par jour.

- La reproduction.

Les males et les femelles émettent leurs produits génitaux dans l'eau (fécondation externe). Il existe un phénomène particulier pour les lamellibranches d'eau douce : après le développement embryonnaire, on observe le développement d'une larve glochidie (parasite) qui se fixe sur les branchies ou les nageoires de poissons. Cette fixation confère aux mollusques d'eau douce, un grand pouvoir de dissémination.

La première classification des lamellibranches est basée sur la structure et la forme des branchies.

2\ L'ordre des Protobranches.

Les branchies sont constituées de filaments simples et le manteau est largement ouvert.
Exemple *Nucula sp.*

3\ L'ordre des Mésobranches (ou filibranches).

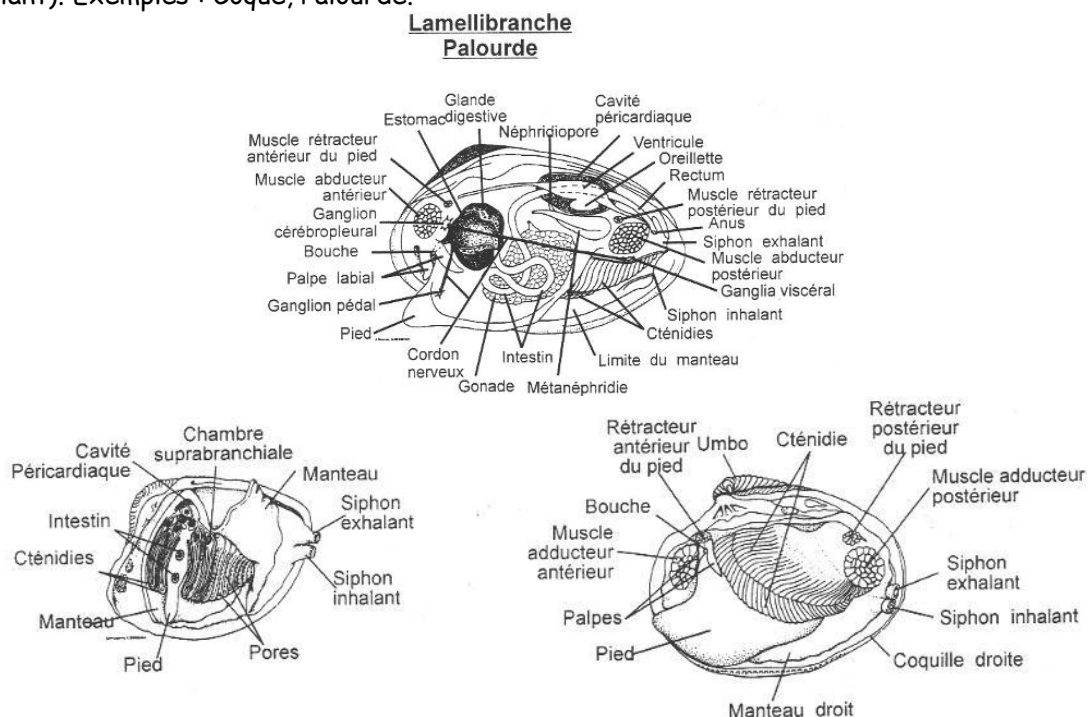
Les branchies sont plus complexes, constituées de filaments directs et réfléchis. Ils sont en liaison par une jonction simple. Les branchies prennent une forme de « W ».

Les deux muscles adducteurs sont présents mais le muscle antérieur est réduit. On trouve une soudure dorsale (la charnière). Exemples : *Mytilus* (moule), *Pecten* (coquille St Jacques).

4\ L'ordre des Métabranches (ou Eulamellibranches).

On trouve des filaments directs et réfléchis mais soudés. Les liaisons entre les filaments sont plus importantes et constituées de ponts conjonctifs : on a une rigidification de la structure.

Le manteau présente une ou deux soudures ventrales (un orifice inhalant et un orifice exhalant). Exemples : Coque, Palourde.

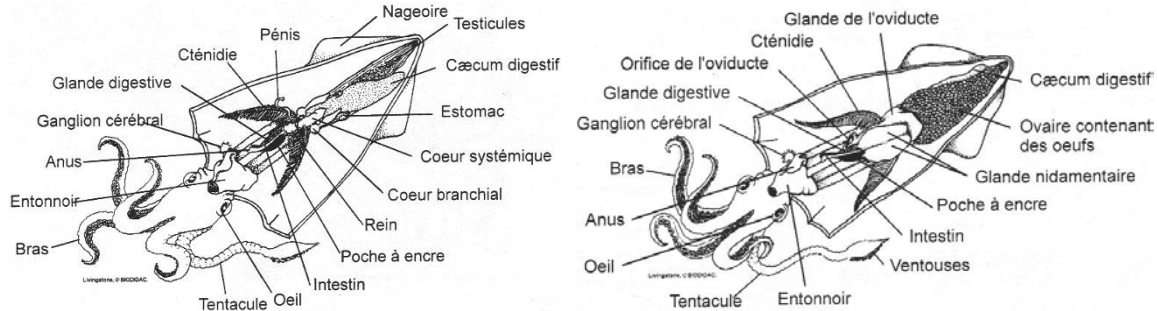


5\ L'ordre des Septibranches.

Les branchies sont réduites et forment une sorte de membrane percée de pores où passe le manteau et la masse viscérale. On détermine une « chambre branchiale ».

6\ La classe des Céphalopodes.

Les céphalopodes sont les mollusques les plus différenciés. Ils sont souvent considérés comme les invertébrés les plus évolués. Leur système nerveux est concentré et les yeux sont de type camérulaire (semblables à ceux des vertébrés). Ce sont toutes des espèces marines. Leur taille est variable (de quelques centimètres à plusieurs mètres). Les plus grands sont les calmars géants et ils sont en concurrence alimentaire avec les gros vertébrés comme le cachalot...



1\ Organisation des céphalopodes.

Cf. TP. Exemple de la Sèche.

2\ La sous-classe des Tétrabranchoyaux.

Les tétrabranchoyaux furent un groupe important au Primaire. Maintenant, ils ne sont plus représentés que par un genre : *Nautilus*.

Sa coquille est enroulée sur un plan. Elle est divisée en loges, séparées par des cloisons. L'animal vit dans la dernière loge. Il existe un siphon qui traverse toute la loge pour se terminer dans la loge initiale. Ce siphon contient un ligament qui va rejoindre la dernière loge.

Ils ont quatre branchies, quatre oreillettes, quatre reins. Ils présentent entre 40 et 50 tentacules rétractiles.

On les trouve dans l'océan Pacifique et dans l'océan Indien.

3\ La sous-classe des Ammonoïdés.

Cette sous-classe est uniquement présente au Secondaire, après, ils disparaissent. Leur coquille est traversée par un siphon. Ils avaient deux ou quatre branchies.

4\ La sous-classe des Dibranchiaux.

Les dibranchiaux possèdent deux branchies, deux oreillettes, deux reins.

α\ L'ordre des Décapodes.

Les décapodes ont dix bras péri-buccaux et une coquille interne. Le manteau forme deux replis latéraux qui donnent une nageoire de chaque côté de l'animal. Exemples : Sèche, Sépia, Calmar.

β\ L'ordre des Octopodes.

Les octopodes ont huit bras. Ils sont dépourvus de coquille. Le manteau est sous les replis latéraux. Ce sont des animaux benthiques. Exemple : la Pieuvre.

γ\ L'ordre de Bélemnitoïdés.

Les bélemnitoïdés sont un groupe fossile qui présentait une coquille externe.

Les Arthropodes, Généralités.

I\ Caractères généraux.

Les animaux de la lignée protostomienne ont subi des modifications considérables avec des spécialisations selon les milieux colonisés. Les arthropodes sont les mieux céphalisés avec les céphalopodes.

Ces arthropodes présentent des caractères d'annélides comme une chaîne nerveuse ventrale et une segmentation apparente. Ils ont aussi des caractères de mollusque avec par exemple, un coelome réduit et un appareil circulatoire ouvert.

Les arthropodes :

- Sont des protostomiens segmentés, équipés à l'origine, d'une paire d'appendice par segment. Certains de ces appendices disparaissent ; d'autres se spécialisent.
- Montrent des formes primitives avec des appendices post-oraux tous égaux. Les formes « modernes » vont présenter des appendices spécialisés en fonction de leur position sur le corps.
- Ont une cuticule externe qui recouvre tout le corps : c'est un exosquelette rigide qui oblige la croissance par mue(s).
- N'ont des vésicules coelomiques que chez les embryons précoces : elles vont régresser chez l'adulte alors que l'hémocœle prend de l'importance. L'hémocœle est la cavité générale où circule le sang.
- Possèdent un cœur contractile, formé à partir d'un vaisseau dorsal. Ce vaisseau est placé dans un sinus péricardique et le sang pénètre dans le cœur par des orifices latéraux paires : les ostioles.
- Ont un système nerveux bâti sur le plan annélidien (la chaîne nerveuse est ventrale, reliée au « cerveau » par le collier péri-œsophagien). Le cerveau est hautement différencié et divisé en trois vésicules : protocérébron, deutocérébron, tritocérébron.
- Ont leurs mouvements qui ne dépendent que de la musculature animant ces appendices locomoteurs, rattachés à l'exosquelette.
- Ont des œufs très riches en vitellus et ne présentent pas de larve trocophore (ce qui est le cas des annélides et des mollusques).

Le système excréteur néphridien des annélides a disparu.

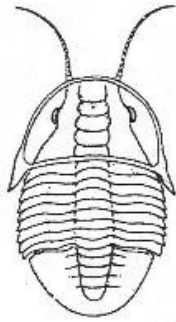
➔ Les arthropodes présentent 7/8^{ème} des espèces vivantes. Ces points évolutifs fondamentaux ont été déterminant dans leur succès écologique et leur réussite.

II\ La diversité des arthropodes.

Chez les arthropodes vrais, on trouve trois sous-embranchements : les Trilobitomorphes, les Chélicérates, les Antennates (ou Mandibulates).

Cet embranchement est représenté dès le cambrien (-560 millions d'années) avec des formes aquatiques.

A\ Le sous-embranchement des Trilobitomorphes.



Ces trilobitomorphes sont des arthropodes primitifs, aquatiques, avec des antennes pré-orales et des appendices biramés sur tous les métamères. Aucun trilobitomorphe n'a atteint l'ère secondaire. On compte 3950 espèces.

B\ Les Chélicérates.

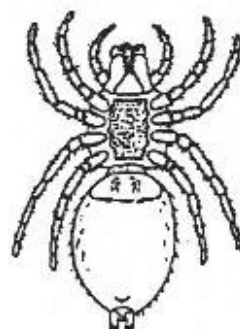
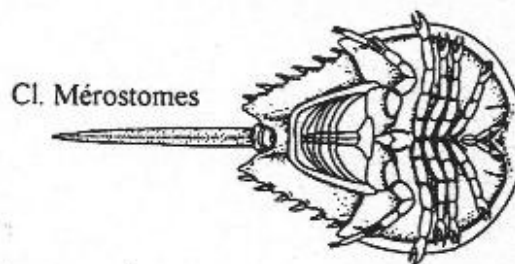
63000 espèces sont actuellement connues. Elles n'ont pas d'antennes. La première paire d'articles est en avant de la bouche et forme des pinces préhensiles : les chélicères. On y trouve aussi une paire d'appendices tactiles : les pédipalpes.

Le corps est divisé en deux régions ou deux tagmes :

- Un prosoma, antérieur, portant les chélicères, les pédipalpes et tous les segments munis de pattes marcheuses.
- Un opistosoma, portant des appendices réduits ou bien absents.

Les chélicérates sont divisés en trois classes :

- Les mérostomes : leur respiration est branchiale, aquatique. Ce sont les limules (ou chiphosures). Le corps est recouvert d'une carapace dorsale.



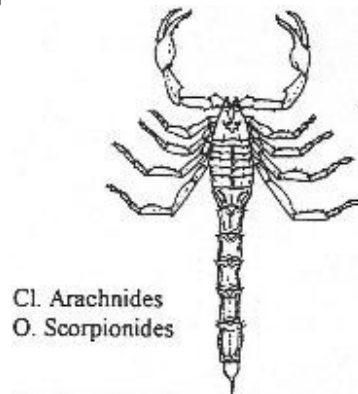
Prosome

Cl. Arachnides

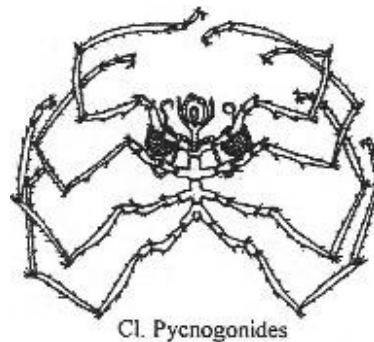
O. Araneides

Opisthosome

- Les arachnides : la respiration est aérienne et ils sont majoritairement terrestres. On en connaît 15 ordres et les plus connus sont les scorpions, les araignées, les opilionides ou les acariens.

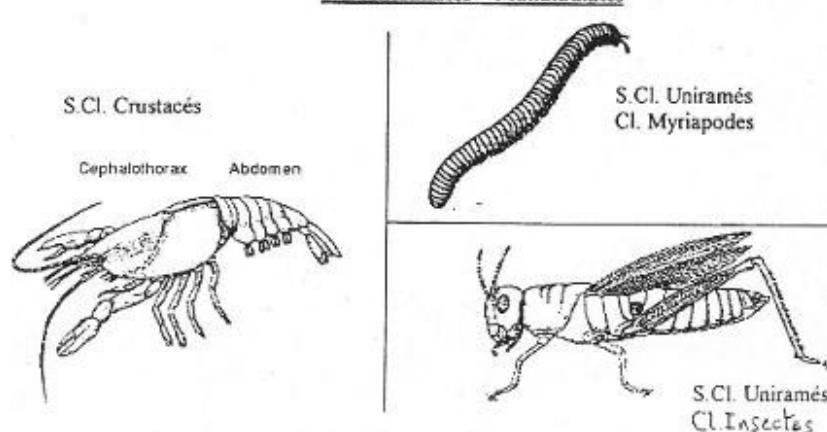


- Les pycnogonides : ce sont les « araignées de mer ». Ce sont des formes aquatiques à respiration cutanée. Le prosoma est très développé alors que l'opistosoma est très réduit.



C\ Les antennates (ou mandibulés).

S/E Antennates = Mandibulés



Les antennates ont des antennes et des mandibules. Ils regroupent les crustacés et les uniramés (myriapodes + insectes). La différence entre les sous-groupes est surtout faite à partir des appendices céphaliques.

1\ La Super-classe des Crustacés.

Les crustacés sont aquatiques, à respiration branchiale. Ils possèdent deux paires d'antennes. On en connaît 40 000 espèces réparties en 10 classes.

2\ La Super-classe des Uniramés.

Cette super-classe comprend près d'un million d'espèces. Elles sont pourvues d'une seule paire d'antennes. Les appendices locomoteurs n'ont qu'une rame.

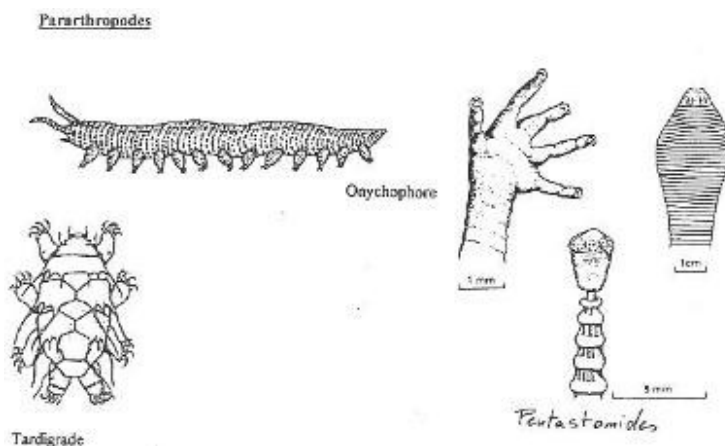
α \ La classe des Myriapodes.

On trouve plus de trois paires d'appendices locomoteurs.

β \ La classe des Insectes (ou hexapodes).

On trouve trois paires d'appendices locomoteurs.

III\ Les Pararthropodes, groupe associé aux arthropodes.



Les pararthropodes regroupent trois classes : les tardigrades, les onychophores et les pentastomides.

Ces derniers seraient des arthropodes vrais déformés par le parasitisme.

Les tardigrades et les onychophores sont beaucoup plus énigmatiques. Ils possèdent des caractères d'arthropodes comme une segmentation, une cuticule, une croissance par mue. Ils présentent toutefois des particularités pouvant être considérées comme des régressions : les tardigrades n'ont ni antennes, ni pièces buccales, ni système respiratoire. Les appendices articulés peuvent être présents ou non.

Les péripates sont comme les arthropodes, mais sans appendice articulé.

→ Le problème de l'intégration de ces trois classes aux arthropodes n'est pas résolu.

IV\ Signification fonctionnelle de la métamérie.

Comme chez les annélides, le corps est à symétrie bilatérale, avec une succession de segments : les métamères. Il y a segmentation ganglionnaire du système nerveux.

A\ La métamérie des arthropodes.

Homologie des segments chez quelques Arthropodes (d'après Beaumont et al.)

Segments	Scorpions	Aranéides	Crustacés (langoustine)	Myriapodes	Insectes
Acron	ocelles		Et/ou	ommatidies	
1	chéllicères	chéllicères	A1	-	A1
2	Pdp + bouche	Pdp + bouche	A2	A2	-
3	P1	P1	Md + bouche	Md + bouche	Md + bouche
4	P2	P2	Mx1	Mx1	Mx
5	P3	P3	Mx2	labium	labium
6	P4	P4	Pmx1	P1 = forcipules	P1
7	sternum	Segment prégénital	Pmx2	P2	P2 + A11
8	O. génital	O. pulmon. O. génital	Pmx3	P3	P3 + A12
9	peignes	O. trachéens	Pe1	P4	Abd1
10	O. pulmon.		Pe2	P5	Abd2
11	O. pulmon.		Pe3 O. génital femelle	P6	Abd3
12	O. pulmon.		Pe4	P7	Abd4
13	O. pulmon.		Pe5 O. génital mâle	P8	Abd5
14			PI1	Etc...	Abd6
15			PI2	Etc...	Abd7
16			PI3		Abd8 Gonopodes femelle
17			PI4		Abd9 Gonopodes femelle et/ou mâle
18		anus	PI5		Abd10 Gonopodes mâle
19	anus		PI6 (uropodes)		Abd11 Cercues
Telson	dard		Telson		Telson - anus

Chaque segment est entouré de plusieurs plaques (sclérites) et sont unis (les segments) entre eux et aux métamères voisins par une membrane ventriculaire.

On trouve un tergite dorsal, un sternite ventral et deux pleurites ventraux.

Un métamère est traversé par : le tube digestif, le cœur (vaisseau contractile dorsal), la chaîne nerveuse, des faisceaux musculaires longitudinaux dorsaux et ventraux.

La musculature circulaire a disparu. A la série des métamères s'ajoutent :

- L'acron dans la région antérieure, qui porte le protocérébron.
- Le telson, à l'arrière, qui porte l'anous.

Cette métamérie hétéronome résulte de la différenciation de régions (les tagmes). Chaque tagme comprend une série de métamère pour la même fonction.

Les appendices des tagmes sont spécialisés dans des différentes fonctions. Les arthropodes primitifs ont un grand nombre de segments, pouvant être indéfini, alors que les formes spécialisées ont un nombre de segments réduit et fixe. Il y a donc une division du travail entre les différents groupes de segments. La région antérieure est sensorielle et masticatrice ; la région moyenne est locomotrice ; la région postérieure porte les organes génitaux.

B\ Signification fonctionnelle de la métamérie.

La segmentation chez les cœlomates semble avoir une double signification : collecte de nourriture et locomotion. Chez les annélides, la segmentation est d'abord liée à la locomotion :

toute réduction de la mobilité s'accompagne d'une altération de la métamérie. Par exemple, les annélides sédentaires ont une métamérie altérée par rapport aux annélides errantes.

Chez les arthropodes, on pense que la segmentation est d'abord liée à la collecte de la nourriture. Cela est basé sur un groupe de crustacés, soit fixés, soit parasites : les cirripèdes. Chez les formes fixées, on trouve deux types morphologiques :

- Les Lepas, à aspect de fleur composée, avec une carapace de plusieurs plaques calcaires (le capitulum) et un pédoncule de fixation.
- Les Balanes, dépourvus de pédoncule mais protégés par une muraille calcaire.

Dans les deux cas, le corps a six paires d'appendices troncaux en forme de fouet. Les cirres sont munis de soies plumeuses pour la capture du plancton. La sédentarité n'affecte pas la segmentation, probablement, car celle-ci est liée à la collecte de nourriture, d'où, les six paires d'appendices.

L'altération de la métamérie ne peut donc être associée qu'à un changement radical des habitudes alimentaires, comme chez les parasites. C'est le cas chez les cirripèdes rhizocéphales comme la *Sacculine*.

→ La segmentation n'est que secondairement associée à la locomotion qui se fait dans un premier par nage appendiculaire.

V\ La céphalisation.



La tête résulte de la fusion de l'acron avec les cinq premiers métamères. L'acron porte les ocelles et les yeux composés. Les métamères 1 à 5 portent les appendices spécialisés dans les fonctions sensorielles (exemples : antennes et mandibules) et/ou dans les fonctions masticatrices (exemples : mandibules, pattes-mâchoires).

Les métamères 1 et 2 sont en position pré-orale et leurs centres nerveux (deuto et tritocérébron) vont fusionner avec le protocérébron pour former le cerveau.

Les métamères 3 à 5 sont post-oraux et leurs ganglions fusionnent en un ganglion sous-œsophagien innervant les pièces masticatrices.

Ces deux ensembles sont liés par un collier péri-œsophagien. La tête des arthropodes reste controversée sur plusieurs points. Les formes primitives étaient proches des crustacés céphalocarides : une tête bien individualisée avec un acron plus cinq métamères. La tête est séparée du premier métamère thoracique par une limite inter segmentaire. On admet que cette disposition représente la structure fondamentale des arthropodes. Cette structure fondamentale est conservée chez les myriapodes avec une meilleure individualisation, grâce à un cou. C'est la même chose chez les insectes.

Toutefois, la tête de nombreux crustacés et de tout les chélicérates s'éloigne de ce type fondamental. Les crustacés ont une céphalisation qui fait intervenir les deux premiers segments du tronc qui vont se souder à la tête primitive. La partie dorsale de la carapace recouvre plus ou moins l'ensemble du corps. Les premiers appendices thoraciques forment des pattes-mâchoires (PMX) venant participer à la mastication. La tête est une unité anatomique mais aussi

fonctionnelle. Elle regroupe les éléments pour les fonctions nerveuses (et sensorielles) et de nutrition.

Chez les chélicérates, la partie antérieure est longue, d'un seul tenant. De l'avant vers l'arrière, on trouve une paire de chélicères, une paire de pédipalpes (deuxième métamère plus bouche) puis quatre paires locomotrices. Le premier segment est dépourvu d'appendice. Le premier métamère porte les chélicères. Tout cet ensemble peut être assimilé à une tête primitive mais il assure aussi la fonction locomotrice.

→ On doit admettre que les pattes locomotrices correspondent à des segments du tronc ayant fusionné avec la tête ; l'ensemble formant le prosoma.

La locomotion chez les Arthropodes.

Connaître les mécanismes de la locomotion permet de comprendre les origines d'un groupe animal : tout ancêtre supposé devra fonctionner de la même façon. La locomotion nécessite toujours un système squelettique transmettant une force générée par l'activité musculaire. Chez les arthropodes, c'est l'exosquelette associé à la musculature qui remplit ce rôle.

I\ L'exosquelette et l'appendice locomoteur.

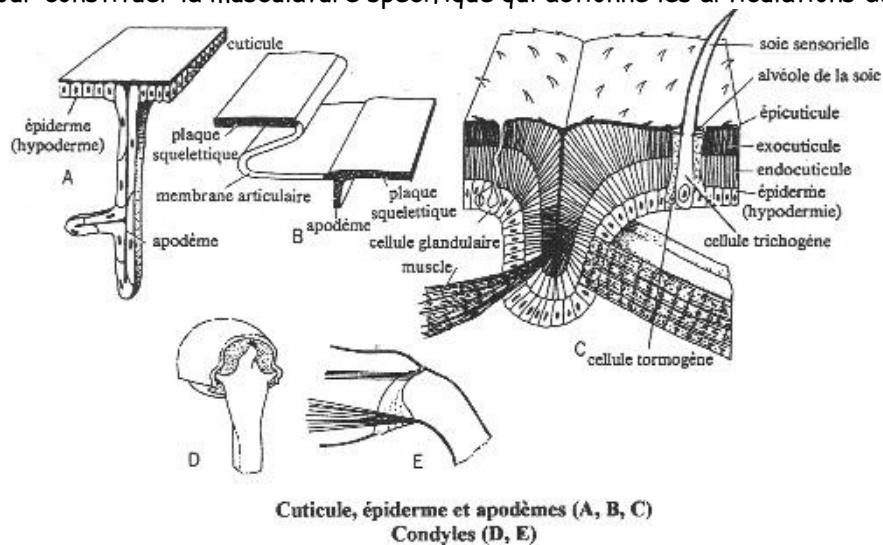
A\ L'exosquelette.

L'exosquelette permet d'avoir des appendices articulés : les arthropodes ont un avantage locomoteur sur tous les animaux vermiformes, d'où, leur succès écologique. Ce squelette procure la rigidité nécessaire au mouvement. Il fournit les points d'appuis pour les mouvements de leviers et fournit des points d'ancrage pour les muscles.

Les appendices permettent le déplacement de l'animal sans avoir à utiliser toute la musculature, comme chez les animaux à squelette hydrostatique type annélides.

Chez les insectes ptérygotes, la cuticule donne les ailes, ce qui permet un déplacement sur de grandes distances. Par exemple, certaines libellules sont capables de traverser la méditerranée.

La paroi du corps comprend la cuticule, l'épiderme et une membrane fondamentale. Toutes les couches musculaires circulaires, diagonales des annélides se sont transformées et se sont dispersées pour constituer la musculature spécifique qui actionne les articulations du corps.



La cuticule est formée de trois couches :

- La couche externe ou épicuticule. Cette couche est très fine, imperméable, inextensible, constituée de lipoprotéines associées à des cires et des composés phénolés limitant les pertes d'eau.

- La couche moyenne ou exocuticule. Cette couche est souvent pigmentée et forme des plaques squelettiques (les sclérites) qui sont constituées de scléroprotéines associées à de la chitine.
- La couche interne ou endocuticule. Cette couche est continue, flexible et forme les membranes articulaires entre deux sclérites successives. Elle est essentiellement composée de chitine associée à des polysaccharides.

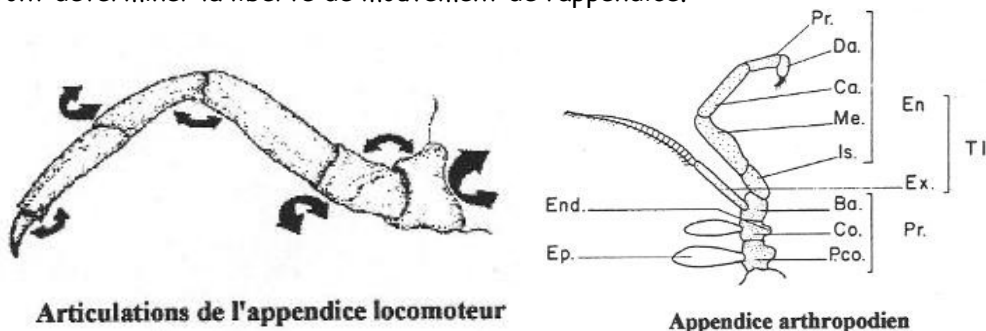
Il existe également des structures fines aux endroits où l'épiderme s'invagine en formant des apodèmes.

Les sutures mobiles pourront montrer deux types d'adaptation. Les sclérites protecteurs se chevauchent alors que l'endocuticule forme une membrane articulaire repliée vers l'intérieur du corps. L'articulation des appendices est différente : s'il n'y a qu'un repli de l'endocuticule, tout le poids du corps reposerait sur une structure fragile : la surface d'articulation va être renforcée par des points de contact → les condyles.

Face aux condyles, la membrane articulaire (plus souple) assure la jonction entre les deux éléments squelettiques. La membrane ne sert qu'à refermer les espaces entre les deux articles.

B\ Les appendices locomoteurs.

Les articulations des pattes comprennent entre un et trois condyles. Leur forme et leur position vont déterminer la liberté de mouvement de l'appendice.



Articulations de l'appendice locomoteur

Appendice arthropodien

Sur l'ensemble de l'appendice, les articulations ne permettent que des mouvements de flexion et d'extension : ce sont des mouvements de type charnière. Seule l'articulation de la base est capable de rotation ; elle est responsable du mouvement vers l'avant.

Le corps des arthropodes est suspendu entre les appendices ; la marche n'implique ni élévation ni abaissement du centre de gravité. Les muscles qui animent les appendices sont situés à l'intérieur du corps.

La structure est uniforme. L'appendice est constitué d'une série d'articles qui s'affinent en allant vers l'extrémité. Les articulations fonctionnent chacune comme une charnière mais sont orientées dans des plans différents. Ce système permet à l'extrémité de l'appendice de se déplacer dans toutes les directions.

L'appendice est biramé ; il comporte une région basale : le protopodite. Cette région est constituée de trois articles : le pré-coxa, le coxa et le basis.

On retrouve ces trois articles chez les crustacés mais les insectes ne conservent que le basis qui sera appelé « la hanche ». Dans ce cas, on suppose que les deux articulations précédentes se sont intégrées pleurite.

A partir des protopodites se sont développés des expansions, les épipodites, à rôle surtout respiratoire.

Ensuite on trouve une rame externe, l'exopodite, qui prend une fonction respiratoire en se transformant en branchies. Cette expansion n'existe que chez les crustacés et les trilobites.

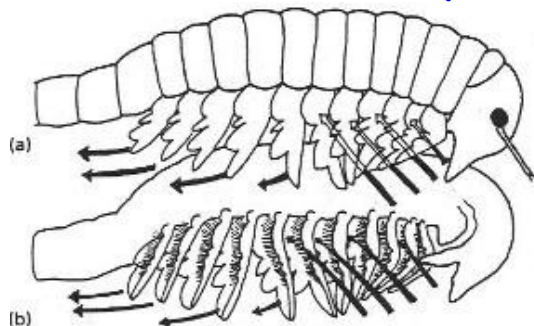
Finalement, on a une rame interne, l'endopodite, qui est composée de cinq articles :

- | | | |
|-------------|---|--------------------|
| - Ischion | } | Articles proximaux |
| - Meros | | |
| - Carpos | } | Articles distaux |
| - Propodos | | |
| - Dactylos. | | |

Chez les insectes, le propodos forme le tarse et se divise en plusieurs articles.

II\ La locomotion chez les crustacés.

A\ Les crustacés primitifs.



**Nage des Crustacés primitifs
(Céphalocarides, Branchiopodes).**

Chez les crustacés primitifs, représentés par les léphalocarides et les brachiopodes, les segments thoraciques portent des appendices qui servent à la fois à la nutrition et à la locomotion.

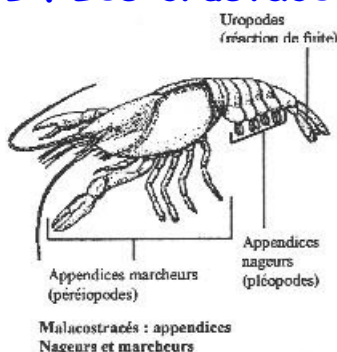
L'appareil locomoteur agit comme une pagaie et la surface présentée à l'eau est maximale à l'impulsion et minimale au repliement.

La nage est favorisée par la contraction des espaces formés entre les appendices. L'eau est aspirée entre les appendices dans la région antérieure puis est expulsée latéralement dans la région postérieure. Le mouvement d'eau est unidirectionnel et ne peut s'inverser car, une fois que l'eau est aspirée dans la région antérieure, les exopodites (externes) vont jouer un rôle de valve.

Les particules sont captées au passage par les soies de l'endopodite ; elles passent ensuite vers une gouttière médio-ventrale, puis sont dirigées vers la bouche.

→ Les appendices servent à la fois à la locomotion et à la nutrition : ils ne sont que peu spécialisés. Les crustacés sont uniquement nageurs.

B\ Les crustacés supérieurs : les malacostracés.



Chez ces crustacés, on observe le passage à la marche benthique, ils conservent quand même une capacité à nager. Ils conservent à la fois des appendices marcheurs thoraciques (les péréiopodes) et des appendices nageurs (les pléopodes).

Une tendance évolutive peut conduire à une réduction, voir même une perte, de la capacité à marcher : c'est le cas des Eucarides. D'autres espèces peuvent perdre la capacité à nager, par réduction ou disparition des pléopodes : cas chez les décapodes Branchiours (crabe) et les Macroures (langouste).

Chez les macroures, les pléopodes sont réduits et ne peuvent pas servir à la nage. Les animaux ont développé une rame caudale, formée des pléopodes 6 et telson. Un retour brutal de cette rame permet la réaction de fuite vers l'arrière.

Chez les crabes, l'abdomen est très réduit. Ces animaux marchent sur le fond grâce à leurs péréiopodes. Il y a quelques exceptions car certains crabes nageurs (genre *Callinectes*) ont modifié la forme du péréiopode 5 qui devient aplati à son extrémité. La nage est réalisée par la rotation de ses péréiopodes.

III\ La locomotion en milieu terrestre.

Les arthropodes sont plus denses que l'air et leur exosquelette va interagir avec le support. Les appendices supportent des forces de flexions orthogonales à leur axe et des forces de torsion qui agissent dans l'axe de l'appendice.

D'un point de vue physique, la structure qui supporte le mieux ces contraintes est un cylindre creux.

On reconnaît trois types de locomotion : la marche, le saut, le vol

A\ La marche.

La marche implique une rotation axiale de l'appendice, réalisée par l'article basal (hanche). On distingue quatre phases :

- Elévation de l'appendice.
- Mouvement vers l'avant.
- Abaissement.
- Rétraction vers l'arrière du corps (l'extrémité de la patte reste en contact avec le sol). L'animal se déplace en avant de ce point fixe.

C'est le jeu des diverses articulations de l'appendice qui maintient le corps à la bonne hauteur.

Chez les myriapodes, on distingue les Diplopodes, herbivores (mille-pattes) et les Chilopodes, carnivores (Scolopendre).

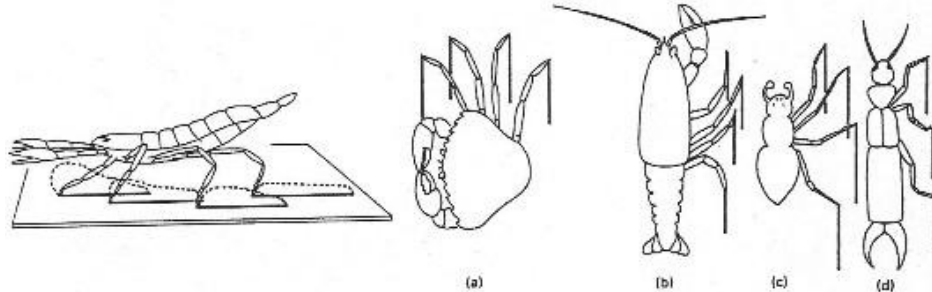
Chez les diplopodes, il y a un grand nombre d'appendices courts, chacun entrant vers l'avant juste après celui qui le précède. Il se forme une onde locomotrice dirigée vers l'avant, qui ne déplace qu'une patte à la fois. Ce mécanisme ne permet qu'une locomotion très lente car une force assez importante s'exerce vers la patte antérieure pour obtenir une vitesse faible. Le type de locomotion convient à ces animaux herbivores qui vivent souvent dans le bois en décomposition ou dans la terre meuble.

Les chilopodes (prédateurs actifs), doivent être capables d'une grande vitesse de déplacement. Plus la vitesse augmente, plus le nombre d'appendices en contact avec le sol va diminuer et les ondulations du corps s'amplifient. Le but des ondes est d'accroître l'enjambée. Ce type de locomotion demande une grande dépense énergétique vu que le corps est mis en jeu. Le problème est résolu par l'accroissement de la longueur des pattes et par la réduction du nombre de pattes. C'est une tendance évolutive très marquée chez les arthropodes.

Les crustacés décapodes ont cinq paires de péréiopodes mais 3 ou 4 servent à la marche. Les autres sont transformés en pinces.

Les arachnides ont quatre paires de pattes. Les insectes en ont trois paires.

La trajectoire de chaque appendice est différente pendant la marche et ces trajectoires ne se recoupent jamais.



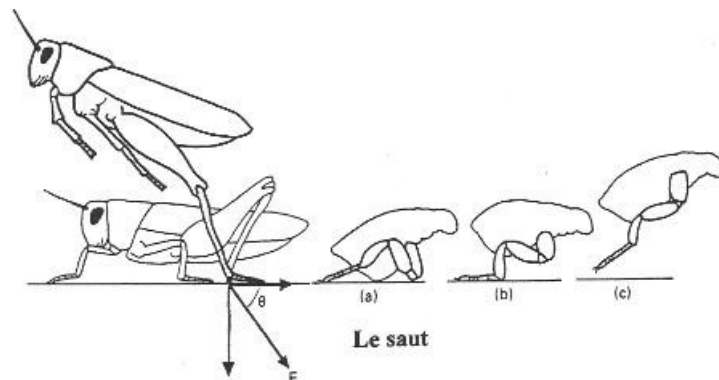
Trajectoire des appendices chez divers Arthropodes

Moins il y a de pattes, plus il est difficile d'obtenir la stabilité.

Chez les hexapodes, la séquence de marche fait qu'il y a toujours trois pattes en contact avec le sol, formant ainsi un trépied. Le centre de gravité de l'insecte se projette toujours dans le triangle formé par les extrémités des pattes.

Les crabes se déplacent latéralement. La traction est réalisée par les articulations inférieures de l'appendice.

B\ Le saut.



Certains insectes présentent une adaptation au saut qui est avant tout une réaction de fuite. Pour sauter, un insecte doit exercer une force sur le support afin d'obtenir une vitesse de décollage qui soit en accord avec sa masse.

$$\frac{1}{2} \times m \times v^2 = m \times g \times h.$$

v est la vitesse au décollage, m est la masse de l'insecte.

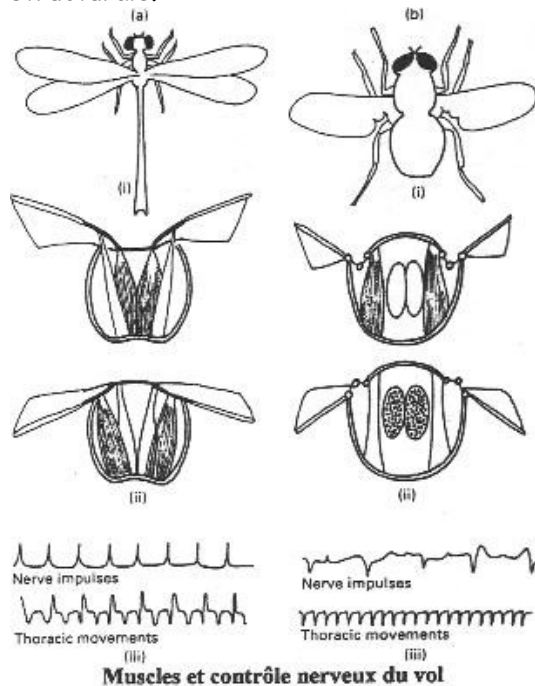
$$H = v^2 / 2g ; h = Ec / m \times g.$$

La force transmise aura une composante verticale et une composante horizontale. La résultante donne la direction du saut. L'accélération continue tant que les pattes sont en contact avec le sol. C'est pour cela que les insectes sauteurs ont des pattes III allongées ; elles augmentent le temps d'action de saut et contribuent à accroître l'accélération.

C\ Le vol.

La cuticule va jouer un rôle important, elle comprend les propriétés idéales pour former une aile.

C'est toujours une membrane fine, à la fois légère et flexible, supporté par des nervures chitinisées. Les insectes ailés sont des ptérygotes. On distingue deux types d'adaptation structurale.



Chez les formes primitives comme les Odonates (Libellules), les ailes sont animées par des muscles directs : ils sont directement rattachés à la base des ailes. Il existe une relation entre les impulsions et les mouvements d'air : une contraction provoque un battement. On observe entre 20 et 40 battements par seconde, le contrôle nerveux étant synchrone.

Chez les formes évoluées (la majorité), le mouvement des ailes est obtenu par l'action de muscles indirects qui vont s'attacher aux sclérites thoraciques. Ces muscles changent la forme du thorax, ce qui provoque les battements. Les ailes sont articulées sur le thorax. Le moustique peut atteindre 2 218 battements par seconde. Les muscles jouent sur les propriétés élastiques du thorax. Le ctrl nerveux est asynchrone. Une contraction déclenche donc plusieurs battements.

Le mécanisme du vol.

Le vol est induit par des flux d'air, générés par les battements d'ailes. Les battements induisent des vortex (masses de fluide en rotation annulaire). Le vortex est ensuite rejeté vers l'arrière avec une direction donnée et libère de l'énergie.

Le battement des ailes génère la circulation de l'air à partir de la surface ; l'air est rejeté vers l'arrière quand l'aile se reploie ou simplement quand elle change d'inclinaison.

L'insecte est propulsé par la force de réaction qui résulte de l'expulsion du vortex.

Exemple des différentes phases de vol du décollage d'un papillon.

- 1- Les ailes sont accolées en position haute.
- 2 et 3- Les ailes s'écartent et une circulation d'air est induite sur le bord d'attaque et est dirigée vers la face dorsale.
- 4- La masse d'air accélère, ce qui aspire l'insecte qui décolle du support.
- 5 et 6- Les ailes atteignent la position basse et l'air en circulation est projeté vers le bas sous la forme d'un vortex qui va à la fois soutenir et propulser l'animal.

Les insectes capables de vol présentent un avantage écologique : ils se déplacent très rapidement sur de grandes distances. Ils pourront coloniser des aires très vastes. Certains acquièrent des capacités de migration (recherche de conditions favorables).

La respiration chez les Arthropodes.

La respiration est l'étude des mécanismes et des structures grâce auxquelles l'oxygène est capté. Les arthropodes ont colonisé tous les milieux (aquatiques et terrestres). Il faut donc considérer deux situations différentes. Les animaux vont prélever de l'oxygène soit sous forme dissoute dans l'eau, soit sous forme gazeuse dans l'air. Il existe deux problèmes fondamentaux :

- Problème pour les animaux vivant dans les zones de balancement de marées (crabes)
- Retour au milieu aquatique sur une partie du cycle de développement (larve aquatique et adulte terrestre).

I\ Les arthropodes aquatiques stricts.

Dans l'eau, l'oxygène est présent sous forme dissoute. Il provient d'une part de la production par des autotrophes et d'autre part, de la diffusion depuis la surface. Ce gaz est présent en faible concentration. Les structures les plus efficaces pour capter l'oxygène sont les branchies. Ce sont toujours des expansions du tégument très fines, dont le but est d'augmenter la surface d'échange avec le milieu extérieur.

Même chez les arthropodes, des branchies devront toujours répondre à trois exigences :

- La surface d'échange doit être rapport avec la consommation d'oxygène.
- La barrière entre le milieu intérieur et le milieu extérieur doit être amincie → épithélium branchial mince.
- L'animal doit mettre en œuvre une convection externe : la ventilation. Il y a créations de mouvements d'eau continus autour des branchies. Il doit aussi y avoir une circulation sanguine qui permet le transport de l'oxygène.

→ Ces problèmes sont résolus par les crustacés : ce sont des arthropodes à respiration branchiale.

A\ Les crustacés : organes et mécanismes respiratoires.

L'exosquelette forme une barrière à la diffusion des gaz, sauf chez les formes de petite taille comme le zooplancton où la cuticule est très mince et permet des échanges à son travers.

L'épiderme ne porte pas de cils. La ventilation branchiale ne peut pas être réalisée par des courants ciliaires typiques des invertébrés.

On constate une augmentation des surfaces spécialisées (branchies) qui vont progressivement devenir internes avec pour étape ultime, la cavité branchiale des décapodes. Les branchéostèges sont des expansions latérales de la carapace. La ventilation est assurée par le jeu d'appendices spécialisés ou non.

On distingue trois types de respiration.

1\ La respiration palléale.

Ce type de respiration est rencontré chez les crustacés primitifs (Ostracodes) et chez les formes fixées (Cirripèdes). Le corps est enfermé dans la cavité délimitée par un repli tégumentaire latérale qui va former un manteau comparable à celui des mollusques.

L'hématose (oxygénation du sang) se fait directement au travers de la face interne du manteau. Ce dernier prend le rôle de branchie.

Chez les cirripèdes, la ventilation est assurée par les mouvements de va et vient thoraciques liés à la prise de nourriture (activité trophique).

Chez les ostracodes, la face interne de la carapace qui joue le rôle de branchie (elle est mince et vascularisée). La ventilation est assurée par l'exopodite (ou lame branchiale) de la Mx1.

2\ La respiration appendiculaire.

Ce type de respiration est trouvé chez les crustacés branchiopodes dits « phyllopoques » (ex : *Artemia*).

Les branchies sont localisées au niveau des appareils locomoteurs, ce qui permet à la fois la ventilation et l'extraction de l'oxygène (plus locomotion et nutrition).

C'est un dispositif qui ne permet pas la marche benthique vu que les surfaces branchiales sont vulnérables. Ce sont donc des formes nageuses.

3\ La respiration branchiale.

Cette respiration fait intervenir l'apparition de courants ventilatoires propres aux branchies et à la cavité branchiale.

Les branchies les plus simples sont observées chez les amphipodes. Ce sont simplement des différenciations des épipodites et elles ne bénéficient d'aucune protection. La ventilation est assurée par le mouvement des appendices eux-mêmes.

Chez les malacostracés, on trouve de véritables branchies distinctes des appendices locomoteurs. Elles y restent quand même associées par le fonctionnement. Les branchies sont protégées par un repli du tégument : le branchiostège. Ce dernier va former une cavité branchiale qui est soustraite aux courants. La ventilation sera assurée par les épipodites et les exopodites des appendices antérieurs.

Le dispositif le plus complexe est présent chez les décapodes.

B\ L'appareil respiratoire des décapodes.

1\ Les branchies.

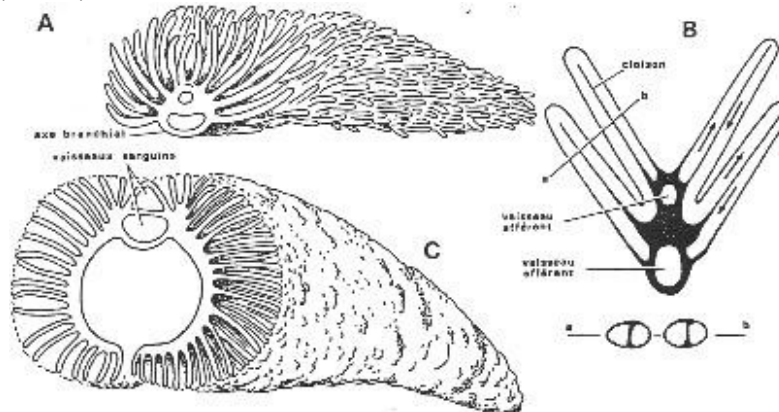
Les branchies sont directement associées aux péréiopodes et peuvent s'insérer à trois niveaux différents :

- sur le coxa (article basal) : on parle de **podobranchies** ;
- sur une membrane articulaire, entre l'appendice et le corps : ce sont les **arthrobranchies** ;
- sur un pleurite : ce sont des **pleurobranchies**.

Chaque branchie possède un axe vasculaire (le raphé) qui porte un ensemble de ramifications constituant une surface d'échanges. Sur le bord interne, on trouve des vaisseaux efférents alors que sur le bord externe, on a des vaisseaux afférents.

Le sang est collecté dans le corps par un sinus ventral puis, amené aux branchies. A la sortie de ces dernières, le sang oxygéné passe dans la cavité péricardique.

Il existe deux types morphologiques de branchies : les *trichobranchies* (Homard) et les *phyllobranchies* (Crabe).



Pour les trichobranchies, les ramifications sont des filaments disposés de part et d'autre du raphé : « brosse ». Chaque filament est divisé par une cloison axiale, déterminant le trajet en « U » du flux sanguin dans les filaments.

Pour les phyllobranchies, le raphé est aplati et porte latéralement des lamelles disposées par paire symétrique. Les deux épithéliums de chaque lamelle sont écartés par des faisceaux de fibres conjonctives.

2\ La cavité branchiale et la ventilation.

La disposition des branchies délimite deux compartiments : le compartiment situé entre la face interne des branchies et le pleurite est le compartiment hypobranchial, afférent. Le compartiment entre la face externe et le bronchiostège forme le compartiment épibranchial qui est efférent.

L'eau entre dans le compartiment hypobranchial en passant entre les bases des péréopodes. Elle traverse les filaments et les lamelles des branchies et se retrouve dans le compartiment épibranchial avant d'être évacuée.

Ces mouvements de circulation sont entretenus par les battements de l'exopodite du maxille 2 (le scaphognathite). Ce dernier est également capable d'inverser brièvement son sens de battement et provoquant ainsi le nettoyage de la cavité branchiale. La fréquence des battements est fonction de la concentration en O_2 .

II\ La vie de la zone de balancement des marées.

Ces variations de marée soumettent des organismes à des exondations. Là, ces animaux ont deux solutions :

- Résister à l'anoxie et se placer en anaérobiose.
- Développer des structures spécialisées leur permettant de consommer l' O_2 de l'air.

→ On retrouve ce dernier cas chez des décapodes comme le crabe qui présentent un appareil respiratoire permettant la consommation d'O₂ dissout ou gazeux.

Cet appareil respiratoire présente trois étapes évolutives : respiration branchiale → respiration tégumentaire → respiration pulmonaire.

A\ La respiration branchiale.

Quand les animaux sont exondés, ils modifient l'approvisionnement en O₂ des branchies. Il existe deux procédés différents :

- Aération de l'eau prisonnière dans la cavités branchiale. Ce cas existe chez les crabes de nos côtes (*Carcinus maenas*). C'est l'inversion du mouvement du scaphognathite qui permet l'aération de l'eau mise en réserve.
- Aération en dehors de la cavité branchiale. On trouve ça chez les crabes pompeurs de la famille des Grapsidés et des Ocypodidés. Quand ils sont exondés, ces animaux pompent l'eau par une fissure se trouvant dans la partie postérieure du corps. L'eau circule vers la cavité branchiale puis est rejetée par des orifices exhalants dans la région antérieure. Cette eau va s'écouler le long de sillons latéraux sur la carapace. Pendant ce trajet, elle se ré-oxygène et est récupérée par la fissure d'aspiration postérieure.

B\ La respiration tégumentaire.

Les structures de respiration tégumentaire sont chez les formes tropicales.

Chez les crabes *Scopimera*, les péréiopodes ont une surface élargie et déprimée. La cuticule y est très amincie et la veine drainant l'hémolymphe se capillarise et se plaque contre l'épiderme. Ce système assure 60% des besoins en O₂.

Chez les pagures (genre *Cænobita*), ce type de respiration tégumentaire est localisée sur la face dorsale de l'abdomen. Le principe est lui, toujours le même.

C\ La respiration pulmonaire.

Certains phénomènes sont rencontrés chez des crabes menant une vie particulièrement terrestre : ils présentent une réduction du nombre et du volume de branchies. Ils vont alors développer des organes respiratoires de substitution. Ces organes se localisent dans la cavité branchiale qui se transforme en un poumon.

Ce phénomène implique quatre modifications :

- Le bronchiostège se bombe dorsalement et peut ainsi délimiter une vaste chambre épibranchiale. Le compartiment pulmonaire s'isole des branchies par un repli tégumentaire et se situe dans la partie inférieure du bronchiostège.
- La face interne du bronchiostège acquiert un rôle respiratoire. Elle se plisse et se hérisse de microvillosités. L'ensemble prend un aspect spongieux.
- La vascularisation des poumons implique une modification de l'appareil circulatoire : apparition de vaisseaux afférents et efférents. Dans tous les cas, la circulation pulmonaire n'est qu'une dérivation par rapport au schéma de base des arthropodes.
- La ventilation est assurée par un scaphognathite mais le rôle ventilatoire est essentiellement pris en charge par la musculature du bronchiostège : elle soulève la paroi en créant ainsi des appels d'air.

III\ Les arthropodes terrestres.

Ces arthropodes trouvent de l'O₂ en quantité « illimitée ». Leur seul problème est de maintenir humides les surfaces d'échange (afin de faciliter les échanges gazeux). Il doit donc y avoir une lutte contre la dessiccation : appareil respiratoire d'origine tégumentaire et appareil trachéen.

A\ L'appareil tégumentaire.

Les appareils tégumentaires sont les plus simples, primitifs. On note une absence de ventilation. Les pertes d'eau sont mal maîtrisées. Les animaux possédant ce mode de respiration vivent en milieu humide.

Par exemple, les araignées et les scorpions possèdent au niveau de l'opistosoma plusieurs paires d'appareils respiratoires : les phyllotrachées (= poumons). Chaque poumon est une invagination du tégument dont la paroi forme de nombreux replis se disposant en lames successives.

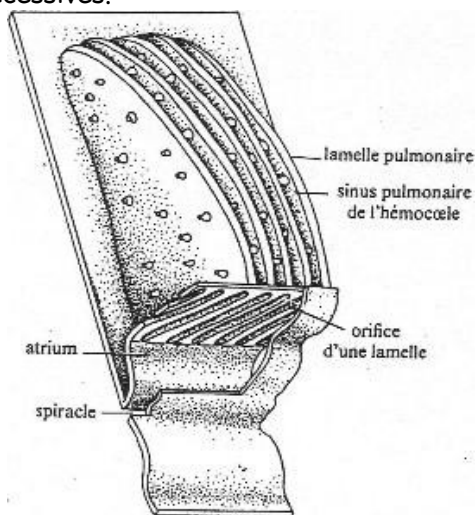


Schéma d'un poumon d'araignée

Au niveau des lamelles, la cuticule est mince et les espaces inter-lamellaires communiquent avec une cavité (l'atrium) s'ouvrant à l'extérieur par un spiracle. → Les échanges respiratoires se font par simple diffusion.

On observe des pulsations rythmiques au niveau des replis pulmonaires. Ces pulsations sont déterminées par le rythme cardiaque. C'est un phénomène typique des chélicérates

Chez certaines araignées très actives, il semble que l'approvisionnement par la voie pulmonaire soit insuffisant. Elles ont donc développé un système trachéen vrai qui amène l'O₂ gazeux directement à proximité des tissus consommateurs. Ces ramifications peuvent même atteindre les pattes. Le développement de cet appareil est fonction du comportement actif de l'espèce.

B\ Les appareils trachéens.

C'est le système de la plupart des arthropodes terrestres et des péricrates. Cet appareil trachéen amène l'O₂ gazeux aux tissus consommateurs et, approvisionnent les cellules par simple diffusion. Le sang va perdre une partie de son rôle de transporteur et ainsi perdre ses pigments.

1\ La structure des trachées.

Les trachées sont des invaginations tubulaires de l'épiderme qui communiquent avec l'extérieur par un stigmate. La lumière est recouverte d'une fine couche de cuticule, en continuité avec l'exosquelette : elle est soumise aux mues.

Dans les trachées, la cuticule forme des anneaux épaissis (les taenidis) qui maintiennent ces trachées ouvertes.

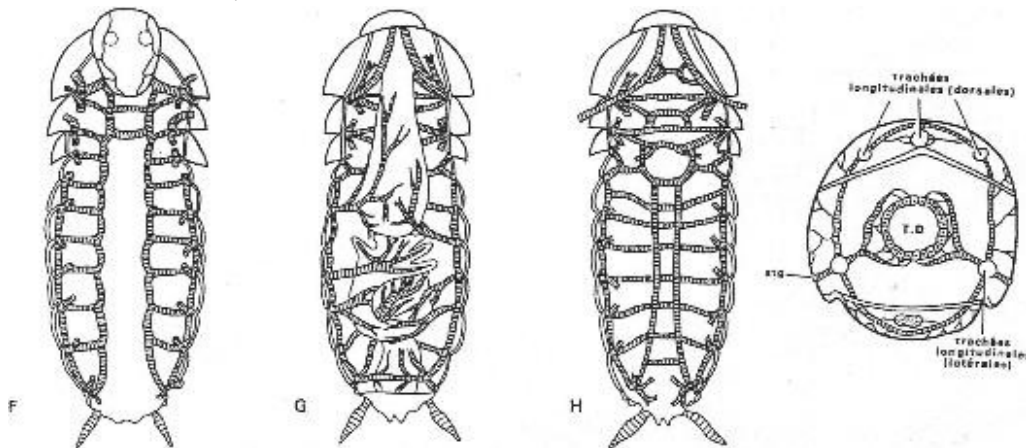
Les trachées se ramifient en diminuant de diamètre. Les ramifications ultimes mesurent 3 à 5 μm et aboutissent à une cellule trachéolaire étoilée, se ramifiant en trachéole. Ce sont les extrémités aveugles des trachéoles qui sont au contact des tissus. La partie terminale de ces trachéoles est remplie d'un liquide dans lequel l' O_2 se diffuse avant de pénétrer dans le tissu.

L'avantage de l' O_2 gazeux est qu'il diffuse plus vite que l' O_2 dissout.

2\ Les appareils trachéens.

L'appareil trachéen comprend tout le réseau de trachées. On distingue deux situations :

- Chez les péripattes, araignées, diplopodes et insectes aptérygotes, les trachées sont indépendantes et peu ramifiées. Elles conservent leur disposition métamérique, chacune se terminant par un stigmate qui lui est propre.
- Chez les arthropodes les plus évolués, les trachées vont se ramifier afin d'accroître la distribution locale d' O_2 . Chaque trachée va se diviser en trois systèmes de distribution :
 - F : Un système de ramification dorsale qui irrigue les muscles pariétaux et le cœur.
 - G : Un système latéral irriguant les viscères.
 - H : Un système ventral qui irrigue les muscles pariétaux et la chaîne nerveuse ventrale.



Tous ces systèmes trachéens, métamériques, sont reliés par des troncs longitudinaux et transversaux. Par conséquent, l'approvisionnement d'un organe en O_2 est indépendant de la localisation des stigmates.

Les stigmates :

Chez les aptérygotes, ces stigmates sont l'ouverture directe des trachées sur le milieu extérieur. Chez les formes les plus évoluées, les stigmates s'ouvrent sur une petite cavité, l'atrium, qui assure l'isolation et la protection des conduits respiratoires. Le stigmate peut être refermé par une lèvre chitineuse mobile. Chez les fourmis, des muscles sont responsables de l'ouverture et de la fermeture des stigmates.

3\ Le fonctionnement.

Le principal avantage de l'appareil trachéen est la vitesse de diffusion de l' O_2 gazeux. L'élimination du CO_2 se fait par les mêmes voies mais ce gaz diffuse facilement au travers des

tissus : une part importante de CO_2 est éliminée en passant par les trachées, puis dans l'hémolymphe puis dans le milieu extérieur.

Les mouvements ventilatoires.

Les mouvements ventilatoires améliorent la circulation en O_2 . Les trachées sont en relation avec des muscles locomoteurs, ce qui accroît la circulation de l'air. L'expiration est active et c'est la contraction des muscles abdominaux dorsaux-ventraux qui font diminuer le volume de la cavité viscérale et donc, expulser l'air vers l'extérieur. Les muscles longitudinaux peuvent intervenir en télescopant les métamères abdominaux.

L'inspiration est passive, résultant du relâchement de ces mêmes muscles.

L'intensité des mouvements musculaires dépend des besoins en O_2 . Un criquet (migrateur) pompe entre 40 et 250 mL/g/h selon son activité. Une abeille a un volume maximum de ventilation dépassant 400 fois le volume de repos.

La consommation d' O_2 est à peu près constante mais le CO_2 est rejeté de façon cyclique : les insectes évolués ont une respiration cyclique. La périodicité de CO_2 est variable selon l'espèce (30 secondes à plusieurs heures). Entre les expirations, la quantité de CO_2 rejetée est très faible. Dans le même temps, la consommation d' O_2 peut être jusqu'à 100 fois plus importante.

Puisque le bilan respiratoire est déséquilibré, on peut se demander ce que devient le CO_2 formé pendant que l' O_2 est consommé. Comment les stigmates permettent un flux constant d' O_2 en ne laissant pas sortir d' O_2 ?

→ Les réponses ne sont que des hypothèses :

- L'excès de CO_2 serait stocké sous forme dissoute dans l'hémolymphe et les tissus ; puis, serait brusquement libéré à l'ouverture des stigmates.
- On constate que pendant un cycle respiratoire, les stigmates sont ouverts au moment de l'expulsion de CO_2 , puis, se ferment hermétiquement et après quelques minutes, on observe une série de palpitations très rapides qui se prolongent jusqu'à l'ouverture suivante.

→ Pendant l'ouverture, la pression gazeuse trachéenne devient égale à la pression atmosphérique. La seconde phase, celle de fermeture des stigmates, la pression trachéenne diminue car l' O_2 est consommé. Pendant les palpitations, la dépression du mélange gazeux provoque des appels d'air et la pression interne se rapproche progressivement de la pression atmosphérique : le flux entrant est donc faible, mais aussi constant.

La teneur en CO_2 varie : environ 6,5% en fin de cycle et 3% pendant la fermeture des stigmates. La majeure partie étant dans les tissus et l'hémolymphe, sa concentration dans le mélange gazeux augmente progressivement jusqu'à l'ouverture de stigmates (décharge de CO_2).

On trouve aussi un mécanisme cyclique pour l'économie de l'eau, réduisant le temps pendant lequel la vapeur d'eau est dissipée.

IV\ Le retour au milieu aquatique.

Même si de nombreux arthropodes se sont affranchis du milieu aquatique, un certain nombre d'espèces y reste inféodé. Ce sont surtout des insectes à adulte aérien et à larve aquatique. Par exemple, on peut citer les odonates (libellule), les éphémères, les coléoptères, les

dycticidae. Dans tous ces cas, l'adulte reste proche du milieu aquatique. D'autres espèces vont être tout le temps dans l'eau.

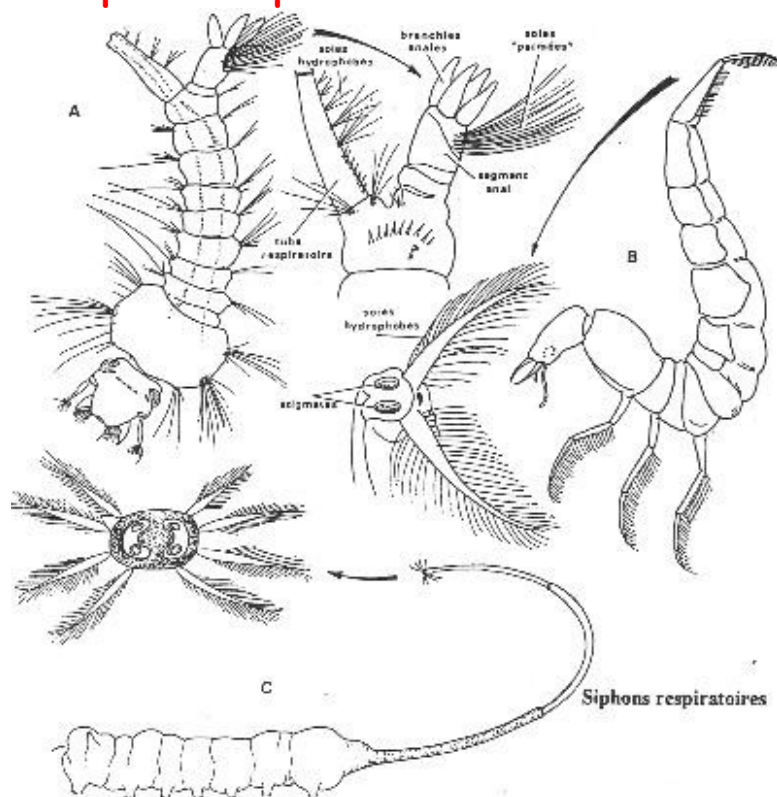
Dans tous les cas, selon l'importance de la phase aquatique, les modifications de l'appareil respiratoire seront plus ou moins importantes : il y obligatoirement réapprovisionnement à la surface.

Certaines espèces ont des structures néoformées leur permettant la consommation d'O₂ dissout : c'est alors un véritable retour à la vie aquatique.

A\ Utilisation de l'O₂ atmosphérique.

L'appareil respiratoire n'est pas modifié ; l'approvisionnement en O₂ est assuré soit par des siphons en surface, soit par des réserves emportées pendant la plongée.

1\ Les siphons respiratoires.



Chez les espèces à siphons, les stigmates ont disparu sauf la dernière paire abdominale. Ils sont portés par le siphon. Ces stigmates s'ouvrent à la base du siphon (Hétéroptères, Nèpes), soit à l'extrémité (larves de Culicidae [moustiques], larves de Dyticidae, larves d'Eristoles [diptères]). Chez les Eristoles, les siphons sont extensibles jusqu'à vingt fois la longueur du corps.

Parfois, les orifices respiratoires sont entourés de soies hydrophobes qui permettent la retenue de l'eau à l'extérieur.

2\ Les réserves immergées.

L'animal constitue une réserve d'air sous forme d'une bulle qu'il emmène avec lui. Ce moyen de respiration est fréquent chez les adultes (Dytidae, Gyrinidae). La bulle permet l'utilisation de

O_2 par les stigmates qui sont non modifiés. Cette bulle peut être sous les élytres ou à l'extrémité de l'abdomen.

Chez les Notonectes, la bulle est retenue par un tapis de soies microscopiques hydrophobes. Chez les Coléoptères Elmidae, les adultes sont aquatiques, vivant dans des eaux courantes, froides et oxygénées. La bulle est localisée au niveau du sternum : elle forme le « plastron » qui joue un rôle de branchie physique. Du fait de la respiration (où O_2 est consommé), la pression en O_2 diminue dans la bulle et devient inférieure à la pression en O_2 dissout, donc, O_2 dissout diffuse dans la bulle.

L'azote gazeux est beaucoup plus soluble que O_2 et s'échappe de la bulle : l'animal doit alors remonter pour reconstituer sa réserve en azote.

Chez certains arthropodes, on trouve des animaux qui vivent dans des cavités remplies d'air. C'est le cas de l'Argyronète (araignée de mer) et là, la bulle est maintenue dans un tissage de soie.

B\ Utilisation de O_2 dissout.

Dans ce cas, on note l'apparition de structures néoformées. Il s'agit souvent de larves d'insectes dont l'adulte est aérien. On y trouve les Ephémères, les Odonates et les Plécoptères. Le système trachéen existe chez les formes larvaires mais les stigmates sont clos.

1\ Les trachéo-branchies.

Les trachées sont approvisionnées en O_2 après la diffusion au travers des structures néoformées rappelant les branchies. Ce sont de simples expansions de tégument renfermant des trachées fines et très découpées. Elles sont reliées au système trachéen comme chez les formes terrestres.

Chez les Odonates anisoptères, la surface respiratoire est localisée au niveau de la cavité rectale. La musculature rectale assure le renouvellement de l'eau par des mouvements d'aspiration et de rejet.

2\ La respiration branchiale ou cutanée.

L'appareil de respiration aérienne disparaît (exemple : Hydracoriens). Dans le cas où il persiste, il sera rempli d'hémolymphe et clos. C'est le cas des Diptères chironome et simulié. O_2 va pénétrer à travers le tégument au niveau des organes d'échanges et va diffuser dans l'hémolymphe → ce sont des « branchies sanguines ».

L'intérêt de cet appareil : les chironomes peuvent vivre dans un milieu avec une concentration en O_2 très faible car ils vont synthétiser un pigment respiratoire.

Le Développement Embryonnaire des Arthropodes.

I\ Généralités.

Dans la majorité des cas, le jeune arthropode, au moment de l'éclosion, a un aspect larvaire. Les formes larvaires varient fortement d'un groupe à l'autre. On distingue deux types de développement embryonnaire.

A\ Développement de type anamorphique.

Ce type développement est aussi appelé développement dilaté. Au moment de l'éclosion, tous les segments ne sont pas formés. Les nouveaux segments s'ajouteront en avant du pygidium au fur et à mesure des mues. On peut citer l'exemple des limules (Xiphosure) dont la larve trilobitomorphe va acquérir progressivement le nombre de segments et d'appendices définitifs. Dans le cas des araignées de mer (Lycmagonides), on a trois paires d'appendices au départ ; les autres se formeront au cours des mues.

La plupart des chélicérates et des crustacés sont anamorphiques, ainsi que les insectes amétaboles (sans ailes).

B\ Le développement épimorphique.

Ce type de développement est direct. Le nombre de segments est définitif au moment de l'éclosion. C'est le type le plus répandu chez les insectes (ptérygotes) bien que les larves ne ressemblent pas à l'adulte.

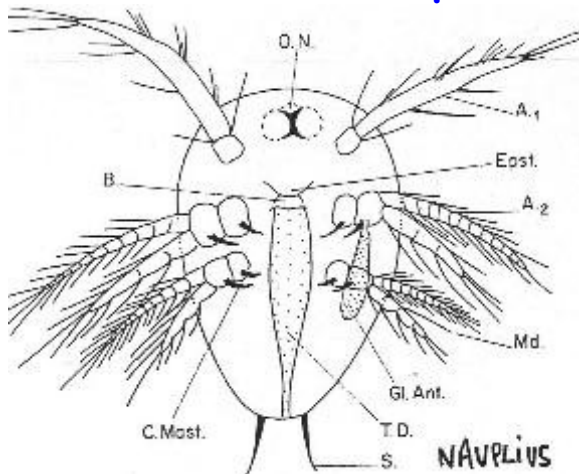
→ Le développement post-embryonnaire est très riche en variations de détails. On détaillera les types les plus intéressants et les plus complexes : les crustacés et les insectes.

II\ Le développement post-embryonnaire des crustacés.

On passe d'un développement anamorphique (formes nageuses) à un développement épimorphique (forme benthiques). On prendra comme exemple les crustacés pénéides (décapodes). On distingue plusieurs stades larvaires et ce sont les mues successives qui permettent de passer les divers stades. Le schéma général est :

1-Nauplius → 2-Métanauplius → 3-Protozoé → 4-Zoé → 5-Mysis.

A\ Le stade Nauplius.



A l'éclosion apparaît cette larve nageuse et planctonique. Le corps mesure 0,5mm de long. C'est la forme la plus primitive chez les crustacés. Son existence n'est pas généralisée car les crustacés peuvent éclore à divers stades larvaires.

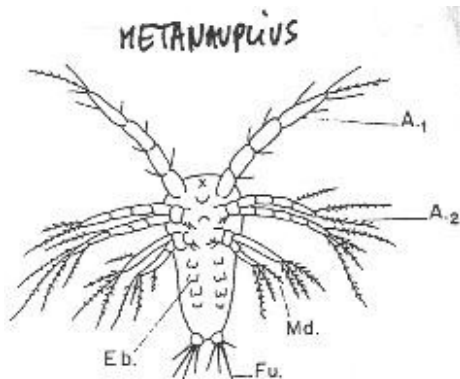
Le corps est ovoïde, sans trace de segmentation apparente. Il est prolongé par deux soies caudales et il porte trois paires d'appendices (antennes, antennules, mandibules). Le protopodite des antennes et des mandibules porte sur sa face interne, des endites à rôle masticateur.

Dans la région antérieure, on a un œil nauplien (impair) et dorsal. Celui-ci résulte de la fusion de plusieurs ocelles (deux latérales et une médiane).

→ Le corps, apparemment non segmenté, comprend en réalité l'acron, les segments oculaire, antennulaire, antennaire et mandibulaire et le telson.

Il existe plusieurs stades nauplius qui ne diffèrent que par l'ornementation de la cuticule et par une organisation croissante de l'anatomie. La durée de vie cette larve est de 1,5 jours. La dernière mue permet le passage au stade suivant.

B\ Le stade métanauplius.



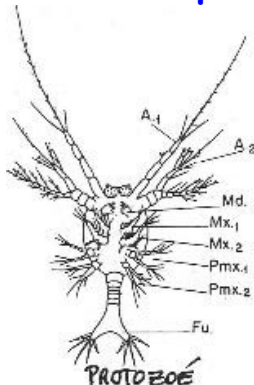
La larve a une forme de raquette. Elle mesure au maximum 0,6mm de long. Elle possède des ébauches des quatre métamères post-mandibulaires qui ont donc les bourgeons des maxillules, des maxilles et des deux premières paires de pattes mâchoires.

Le telson est pourvu d'une furca donnant deux expansions latérales.

Cette larve subit jusqu'à sept mues sans modifications majeures, le tout en 1 jour et demi.

La dernière mue permet le passage au stade suivant.

C\ Le stade protozoé.



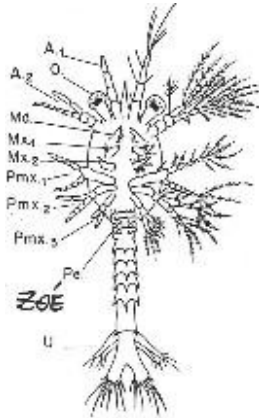
On commence à reconnaître la forme des la crevette: on a alors deux régions: une région antérieure, ovale avec carapace et une région postérieure, cylindrique, allongée, portant des traces de segmentation (furca développée).

On trouve ensuite cinq paires d'appendices céphaliques qui ont acquis leur organisation définitive. L'œil nauplien est encore fonctionnel, mais sans carapace. Les yeux composés sont pédonculés.

C'est le stade le plus long ; les mues se poursuivent sur 4 à 5 jours et la larve atteint 1,5mm.

A la fin de ce stade, les yeux sont bien différenciés et la segmentation de l'abdomen est achevée.

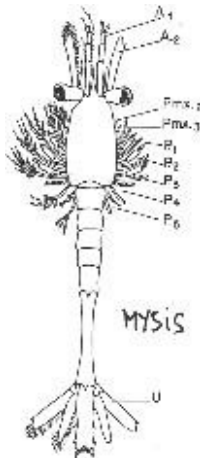
D\ Le stade zoé.



Ce stade dure trois jours et se caractérise par l'apparition de la troisième paires de PMx (pattes mâchoires). On voit apparaître l'ébauche des cinq segments (péréion).

Les segments abdominaux sont bien distincts mais seuls le dernier segment abdominal porte des appendices : les uropodes et le telson → la lame caudale.

E\ Le stade mysis.



Au cours de ses mues, la larve acquiert des pléiopodes. Les segments thoraciques sont différenciés et portent les péréiopodes P1 à P5. Le céphalon et le péréion se recouvrent d'une carapace non divisée : le céphalopéréion.

La dernière mue donnera l'adulte.

A. 1. : antennule ; A. 2. : antenne ; B. : bouche ; C. Mast. : crochet masticateur ; Eb. : ébauche des 4 métamères postmandibulaires et de leurs appendices ; Epst. : épistome ; Fu. : furca ; Gl. Ant. : glande antennaire ; Md. : mandibule ; O. N. : œil nauplien ; S. : soies ; T. D. : tube digestif.

Les stades larvaires des groupes primitifs s'insèrent dans le développement post-embryonnaire des groupes les plus élevés.

TENDANCES RÉVÉLÉES PAR LE DÉVELOPPEMENT DES MALACOSTRACÉS

ORGANISME	TYPE LARVAIRE					ADULTE
	Nauplius	Protozoé	Zoé	Mysis	Mégaloïpe	
Mysidé	Libre	Libre	Libre	Manquant	Manquant	Type Mysidé
Pénéidé	Libre	Libre	Libre	Libre	Manquant	Type Macroure
Néphropsidé	Dans l'œuf	Dans l'œuf	Dans l'œuf	Libre	Manquant	Type Macroure
Brachyoure	Dans l'œuf	Dans l'œuf	Libre	Libre	Libre	Type Brachyoure

- Chez les Mysidés (crevettes nageuses), le développement post-embryonnaire commence avec la larve nauplius et s'achève au stade zoé. L'adulte est de type mysidé.

- Chez les Péréidés, on retrouve les cinq stades, de nauplius à mysis.
- Chez les malacostracés, comme la langoustine, il y a éclosion au stade mysis.
- Chez les branchiours, il y a rajout d'un stade mégalope dont la structure rappelle celle de l'adulte.

Chaque fois que les crustacés sont adaptés aux eaux douces, les stades larvaires sont abrégés et chez les écrevisses, le développement est direct.

III\ Développement post-embryonnaire des insectes.

A l'exception des aptérygotes, la larve possède tous ses segments à l'éclosion.

Cette larve devra subir des transformations plus ou moins importantes avant d'atteindre le stade adulte reproducteur (le stade imago).

On distingue quatre types de développement post-embryonnaire d'où quatre groupes d'insectes.

A\ Le développement amétabole.

On rencontre ce type de développement chez les aptérygotes (Collembolés, Thysanoures). Les jeunes ressemblent aux adultes mais sont plus petits. Le nombre de segments définitifs s'acquiert définitivement mais sans métamorphose. La mue d'adulte, ou imaginale, donne l'imago qui possède des gonades fonctionnelles.

Les adultes continuent à grandir par mues successives qui alternent avec des cycles de reproduction.

B\ Les insectes hétérométaboles aurométaboles.

Ces insectes sont des ptérygotes. On trouve différents ordres comme : les Orthoptères, les Ditiptères, les Phasmoptères, les Dermaptères (perce-oreille) et les Hyménoptères (punaises).

L'éclosion va libérer une larve différant de l'adulte par sa taille et l'absence de pièces génitales et d'ailes. Ce cycle de développement est dit holobiontique (dans le même milieu).

Le développement est progressif : il y a augmentation de la taille et développement des pièces génitales et des ailes. Les ailes apparaissent au niveau du mésothorax et du métathorax (en position dorsale). Elles sont d'abord enfermées dans les replis du tégument (les ptérothèques). Chez les larves, les ébauches d'ailes sont visibles extérieurement : ce sont des exoptérygotes.

La mue imaginale montre une croissance accélérée des pièces génitales et des ailes on obtiendra alors un adulte qui ne mue plus et qui pourra connaître plusieurs cycles de reproduction.

C\ Insectes hétérométaboles hémimétaboles.

Ce type d'insecte est notamment représenté par les Ephéméroptères et les Odonates. L'éclosion va libérer une larve différant de l'adulte par sa taille, l'absence de pièces génitales et d'ailes. Toutefois, la larve se distingue de l'imago par son habitat et son mode de vie.

→ Le cycle se déroule sur deux type de milieu avec souvent, une larve aquatique et un adulte terrestre : cycle amphibiontique.

La larve possède des pièces buccales broyeuses. La mue imaginale implique d'importantes modifications.

Dans tous les cas, des ébauches ailes n'apparaissent que dans le dernier stade larvaire : chez la nymphe (→ insectes exoptérygotes). L'adulte ne grandit plus et peut connaître plusieurs cycles de reproduction.

D\ Insectes holométaboles à métamorphose vraie.

La larve est très différente de l'adulte, par son organisation morphologique et anatomique, par son habitat et mode de vie, par son régime alimentaire. Dans ce cas, on trouve les Coléoptères et les Diptères (mouches et moustiques).

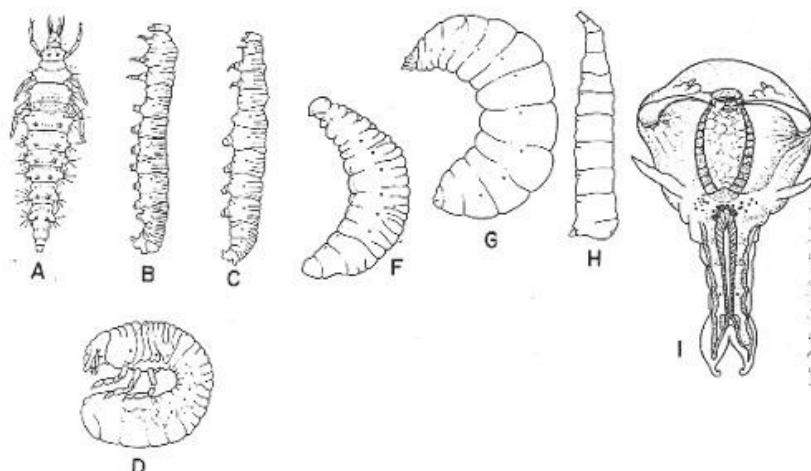
Le développement des ailes est masqué et elles ne seront pas visibles en surface, avant la fin du dernier stade larvaire : ce sont des insectes endoptérygotes.

Le nombre de mues est en général fixe pour une espèce. Dans certains cas, il est soumis aux conditions environnementales (température et nourriture).

La mue imaginale donne l'adulte mais c'est une véritable métamorphose car l'animal (adulte) change complètement d'organisation, de physiologie et de milieu (par rapport à la larve). La nymphe diffère des stades larvaires les trois mêmes critères. Avant la mue imaginale, il y aura une mue nymphale.

1\ Les cinq catégories de larves.

A : larve campodéiforme (Planipenne *Chrysopa*), B et C : larves éruciformes (Lépidoptère *Pieris* et Hyménoptère Tenthredo), D : larve méolonthoïde (Coléoptère *Popillia*), F, G, H : larves vermiformes (charançon, abeille, mouche), I : larve cyclopoïde (Hyménoptère parasite *Trichacis*).



α\ La larve campodéiforme.

La carapace est rigide, les ocelles sont fonctionnelles et trois paires de pattes locomotrices sont présentes : c'est une larve carnassière. Cette larve existe pour de nombreux Coléoptères carnassiers (coccinelles, dytiques, carabes).

β \ La larve mélolonthoïde.

Ce type de larve ressemble aux larves de hanneton : elle a un corps mou, trois paires de pattes thoraciques, des pièces buccales broyeuses et pas d'ocelles. Ces larves vivent dans du bois pourri, dans des souches...

γ \ La larve éruciforme.

C'est la larve type des chenilles de papillons. Elles ont trois paires de pattes thoraciques et n paires de pseudopodes abdominaux.

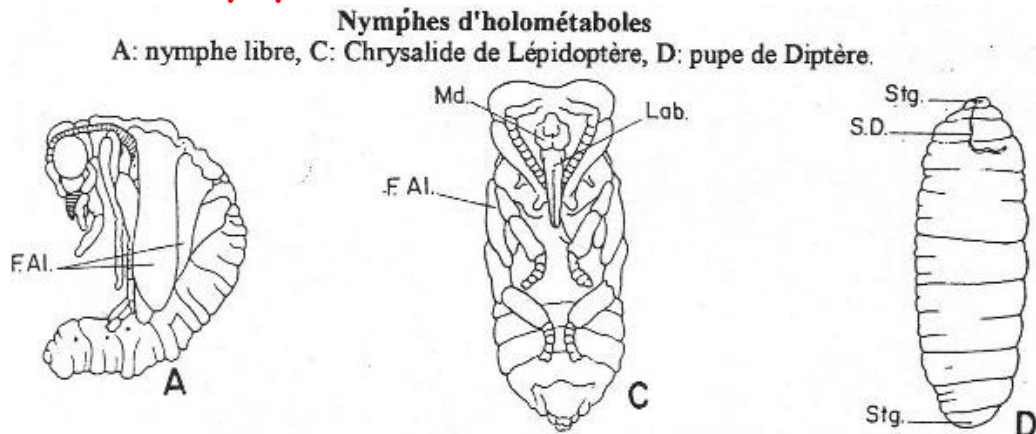
δ \ La larve vermiforme.

C'est la larve des abeilles et des mouches. On note la disparition des appendices locomoteurs et la disparition régressive des pièces buccales et de la tête.

ϵ \ La larve cyclopoïde.

On rencontre ce type de larve chez quelques Hyménoptères parasites.

2 \ Les nymphes.



La nymphe est partiellement ou totalement immobile. L'organisation de la forme de la larve est fortement remaniée en vue de la transition vers la phase adulte.

α \ La nymphe libre (nue).

Les nymphes de ce type sont blanchâtres, immobiles et possèdent des appendices libres mais immobiles. On les trouve chez les coléoptères et typiquement chez Ténébrio.

β \ La chrysalide ou nymphes momies.

Ces nymphes sont enfermées dans un cocon de soie. C'est le cas des papillons (lépidoptères). La nymphe possède des appendices qui sont collés au corps.

γ \ La pupe des Diptères.

Les pupes sont totalement enfermées dans la dernière exuvie de la dernière larve vermiforme. Cette larve est totalement immobile, de couleur foncée.

Dans tous les cas, la nymphe a comme l'adulte des yeux composés, des antennes, des appendices et des fourreaux alaires (replis de tégument enfermant les ailes).

La dernière mue va libérer l'adulte. Cette métamorphose débute avec la mue nymphale et se poursuit pendant tout le stade nymphal et se termine avec la mue imaginale. Durant cette période, l'insecte subit des phénomènes d'histogenèse, d'histolyse et de remaniements.

3\ Histogenèse : exemple du remplacement du tube digestif larvaire par le tube digestif adulte.

Pendant le développement embryonnaire, des amas de cellules non différenciées forment des disques imaginaux et des éléments diffus (histoblastes). Au cours de la vie larvaire, les disques sont stationnaires (amas blanchâtres) et seront à l'origine des organes spécifiques à l'adulte. Ces disques s'accroissent et poursuivent leur évolution après la mue de la nymphe.

4\ Histolyse.

Les organes détruits sont le tube digestif, des muscles, la trachée, des glandes thoraciques et séricigènes (pour la soie). Des hydrolases provoquent l'autolyse des cellules concernées et des cellules phagocytaires vont absorber les débris.

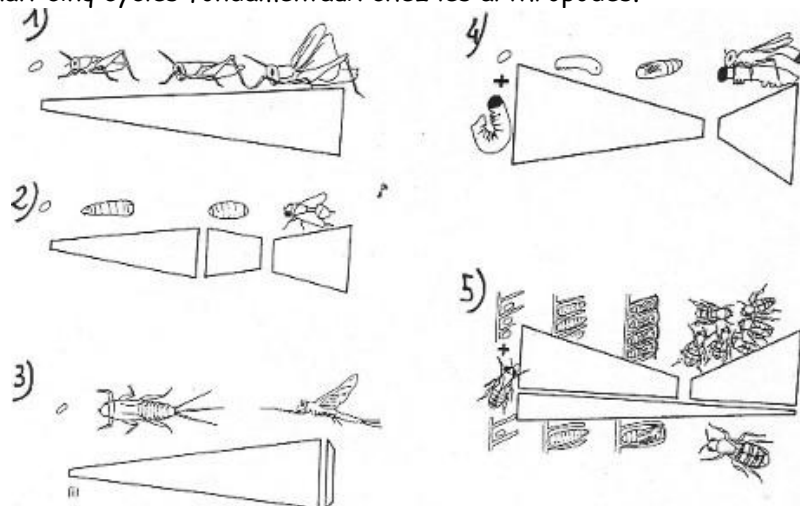
5\ Remaniements.

Les remaniements affectent les organes communs : le cœur, certains muscles, les tubes de Malpighi (à fonction excrétrice). Les cellules subissent une dé-différenciation puis acquièrent les caractères imaginaux dans un changement de destinée.

E\ Analyse fonctionnelle des cycles de développement.

Principe : On peut reconnaître, pendant le même cycle développement, plusieurs fonctions remplies par divers stades de développement (stades pré-adultes et adultes). On distingue différentes fonctions : une fonction de développement et de différenciation (larves) ; une fonction d'acquisition de la nourriture ; une fonction de dispersion ; une fonction d'accouplement ; une fonction de distribution de la nourriture à la progéniture ; une fonction de sélection des types de croissance ; une fonction de ponte.

On reconnaît cinq cycles fondamentaux chez les arthropodes.



La largeur de la bande représente la quantité de ressources disponibles. Une augmentation de cet largeur montre une acquisition de cette nourriture alors qu'une diminution de cette même bande indique une utilisation de ces ressources.

En 1, on voit une transition graduelle vers l'adulte. La larve et l'adulte sont impliqués dans l'exploitation des mêmes ressources. Les adultes ont en plus les fonctions d'accouplement, de ponte et de dissémination.

En 2, on voit que les larves et les adultes se nourrissent en exploitant des ressources différentes. La larve se nourrit avec des cadavres d'animaux morts : c'est une fonction de développement et d'acquisition des ressources. On obtiendra alors une pupa qui va utiliser les ressources acquises par la larve pour son développement et sa différenciation. L'adulte va continuer à se nourrir mais à partir d'une autre source de nourriture. Ce dernier possède les fonctions d'accouplement et de sélection du site de développement des larves, de ponte.

En 3, on observe les insectes amphibiontiques (à larves aquatiques et à adultes aériens). Il y a séparation du rôle d'acquisition et de dispersion d'une manière très marquée. L'adulte ne se nourrit pas ou seulement très peu. C'est le cas des éphémères, des trichoptères et des plécoptères.

La larve est herbivore ou carnivore. Sa durée de vie varie entre quelques mois et trois ans. Elle possède la fonction de nutrition. L'adulte ne vit que quelques heures pendant lesquelles il doit s'accoupler puis pondre dans un site convenable aux larves. C'est ensuite sa mort.

En 4 et 5, on voit des adultes de certaines espèces qui remplissent les fonctions de dispersion, de ponte mais aussi de stockage et de mise à disposition des ressources sous formes provisions pour les larves.

En 4, c'est le cas des guêpes solitaires où l'adulte pond un œuf sur une proie paralysée. Cet adulte a alors remplie son rôle de dispersion, d'accouplement de sélection du cycle de ponte et de ponte. La larve doit acquérir la nourriture et la fonction de développement.

En 5, on observe les hyménoptères sociaux. Il y a un partage des fonctions assuré par une différenciation des individus en castes. Les larves utilisent les ressources mises à leur disposition pour leur croissance. Les ouvrières sont stériles et ont la fonction d'acquisition des ressources. La reine est un adulte fertile regroupant les fonctions d'accouplement, de ponte et de dispersion. Les mâles sont des adultes fertiles avec la fonction d'accouplement mais n'ont aucun rôle dans l'acquisition.

Biologie Animale

Chapitre 5-5 :

Prédation et Défense chez les Arthropodes.

I\ La Prédation.

Un prédateur est un animal qui attrape, tue et consomme d'autres animaux.

On verra la capture de proies mobiles (par des systèmes de capture) et des modalités de consommation spécialisées.

A\ La capture.

Les prédateurs peuvent rechercher leurs proies (scorpions), les guetter en embuscade (araignées, mentes). Tous possèdent des systèmes (armes) de capture et d'immobilisation. De plus, des soies sensorielles portées par les pédipalpes transmettent des informations afin de faciliter la capture par les pédipalpes (trichobothrie) ou les chélicères.

Par exemple, les chilopodes présentent, près de la bouche, une paire d'appendices locomoteurs qui est transformé en forcipules (à venin). La première paire de pattes est souvent devenue ravisseuse (mente).

→ Les systèmes de capture proviennent d'appareils pré-existant.

L'exemple des araignées.

Les araignées possèdent des glandes filières et des glandes séricigènes qui produisent de la soie (afin de former des pièges). La toile est souvent un piège passif mais peut être actif. Des araignées vont synthétiser une toile conique, tendue entre leurs pattes postérieures, qu'elles vont lâcher sur les proies.

Dans certains cas, les soies forment des sphères visqueuses qui sont pendues à l'extrémité d'un fil. Les proies seront saisies par des chélicères transformés en crochet.

Les orthognathes ont un déplacement des chélicères perpendiculaire à l'axe du corps : la taille des proies est donc illimitée. Les labidognathes ont leurs chélicères qui se déplacent dans le plan du corps, ce qui limite l'ouverture des chélicères.

B\ Consommation.

La majorité des insectes dont tous les arachnides, formes prédatrices, consomment leurs proies par succion. Les fluides corporels produits sont aspirés après la percée du tégument. Les arachnides ont des enzymes salivaires qui sont injectées à la proie et qui commencent la digestion de l'animal : les tissus seront liquéfiés. Pendant ce temps, la proie est tenue par les chélicères. Les sucs digestifs seront enfin ré-ingurgités.

L'appareil consommateur sera simplifié chez les acariens parasites comme les tiques (les proies sont seulement ponctionnées).

Chez les pseudo-scorpions, ce phénomène de digestion extérieure est poussé au maximum car la bouche est entourée de soies, fonctionnant comme un filtre : la proie est maintenue par les chélicères et sera entièrement dissoute. Seul l'exosquelette restera intact. Ces arthropodes

réaliseront seulement une aspiration de bouillie alimentaire. Les déchets grossiers seront rejetés par les soies.

Les chilopodes et les insectes broyeurs vont triturer les aliments avec leurs pièces buccales chitineuses. Cette nourriture sera ensuite triée dans un premier intestin (antérieur) puis, digérée dans l'intestin moyen).

II\ La réponse des proies : défense contre les prédateurs.

Les arthropodes sont eux-même les proies de vertébrés ou d'invertébrés. Ils ont mis au point trois réponses.

A\ L'évitement.

La proie doit rester hors de portée du prédateur ou être invisible : migration, fuite, camouflage.

1\ La migration.

La migration est caractéristique des crustacés zooplanctoniques (copépodes). Ils vont effectuer des migrations verticales où ils s'enfoncent dans une colonne d'eau et ne remontent que la nuit : ils sont peu visibles à la lumière, surtout pour les poissons qui pratiquent une chasse visuelle.

Des migrations sont observées chez des insectes aquatiques où les larves dérivent pour aller coloniser les mers en aval. Un pic de migration existe dans ce cas en début de nuit.

2\ La fuite.

La fuite est une forme extrême d'évitement. Souvent, elle implique des réponses locomotrices spécialisées. Il peut y avoir utilisation de la rame caudale comme chez les dodécapodes ou utilisation des pattes 3 chez les sauteurs.

3\ Le camouflage.

Chez les arthropodes, se camoufler correspond à se confondre avec son milieu.

De nombreux insectes comme les papillons ont des ailes ou un corps dont la coloration les rend invisibles sur les arbres : c'est le mimétisme de couleur.

Le mimétisme de forme se trouve par exemple chez les phasmoptères, les Dictyoptères. Ces animaux prennent la forme de brindilles ou de feuilles.

B\ La dissuasion.

Cette dissuasion va être réalisée par des moyens physiques ou chimiques.

1\ Dissuasion physique.

Dans ce cas, il peut y avoir utilisation de l'exosquelette qui constitue une fortification, renforcée par des expansions (exemple des crustacés qui forment des extensions de précipitations calcaires). La muraille peut être fermée par un opercule.

Dans d'autres cas, une protection externe peut être utilisée. Par exemple, les pagures protègent leur corps dans une coquille de gastéropode. En fait, les pagures réalisent une économie d'énergie en ne synthétisant pas eux-mêmes une coquille.

Il peut aussi y avoir utilisation d'un bouclier. Par exemple, le genre *Cassida* (coléoptère) possède un bouclier formé de matières fécales compressées. Ce bouclier est porté dorsalement par une extension de la carapace et il est orientable.

2\ Dissuasion chimique.

La dissuasion chimique indirecte existe chez les pagures qui s'abritent dans des coquilles de gastéropodes recouvertes de cnidaires.

La dissuasion chimique directe est présente, par exemple, chez les insectes. Les toxines sont très souvent extraites des plantes consommées. Les *Poikilocerus* extraient des toxines de graminées et les stockent dans des glandes à poison avant de les projeter lorsqu'ils sont attaqués. Cette présence de toxine est souvent associée à des couleurs vives (aposématismes). Ces mêmes couleurs pourront être imitées par des espèces non-toxiques (mimétisme batésien). Toutefois, pour que cette imitation, ce mimétisme, fonctionne correctement, il faut que l'espèce non toxique soit en nombre inférieur à celui des toxiques.

C\ La répulsion.

Les arthropodes prédateurs peuvent devenir des proies : les organes de capture peuvent devenir des organes de défense active.

Chez les hyménoptères, l'organe de ponte (ovipositeur) est transformé en dard et ne sert plus à la ponte. Il est en relation avec la glande à venin, dans l'abdomen.

Le cas du Coléoptère bombardier (*Brachinus*).

Les coléoptères de ce genre projettent une sécrétion depuis une paire de glandes post-abdominales (principe actif : benzoquinone synthétisée de façon explosive). Ces sécrétions sont projetées à 100°C et accompagnées d'une détonation audible.

Le cas des Diplopodes.

Les diplopodes sont lents et donc, des proies faciles. Ils portent une paire de glandes répulsives par segment qui va sécréter du cyanure. Le fluide est libéré sous forme de jet sous pression. A chaque sac glandulaire est associé un muscle qui assure la décharge jusqu'à trente centimètres.

D\ L'imitation d'un prédateur.

De nombreux Lépidoptères vont pratiquer ce type de dissuasion : ils portent des ocelles sur leurs ailes qui imitent des yeux d'oiseaux.

→ La prédation a des modalités diverses et des réponses qui sont autant diversifiées : les phénomènes adaptatifs et évolutifs sont très poussés. Les réponses à la prédation sont très coûteuses en énergie : la croissance des populations soumises à la prédation est souvent réduite.

Biologie Animale

Chapitre 6 :

L'embranchement des Cordés.

I\ Généralités.

L'embranchement des cordés regroupe un grand nombre d'organismes issus d'une radiation adaptative importante : un même ancêtre commun.

On distingue trois sous-embranchements :

- Les Urocordés.

Le sous-embranchement des urocordés est formé d'un petit groupe d'animaux à cycle vital dimorphique (stades adulte et larvaire sont complètement différents). Le stade adulte est fixé et le stade larvaire est libre (aquatique). Le stade larvaire est dominant dans le cycle vital.

- Les Céphalocordés ou acéphaliens. Exemple : Amphioxus.
- Les vertébrés. Des agnathes aux mammifères.

A\ Les caractères généraux.

Les cordés ont une symétrie bilatérale, sont métamérisés.

Ils ont tous une corde (ou chorde ou notocorde) qui est une tige endo-squelettique formée de cellules remplies de fluide, l'ensemble étant entouré d'un tissu conjonctif. Cette corde a pour rôle d'assurer une rigidité de l'animal (c'est un support longitudinal). Elle est réduite chez les vertébrés car elle est remplacée par la colonne vertébrale.

Présence d'un tube nerveux dorsal ; moelle épinière chez les vertébrés.

Présence de fentes pharyngiennes (pour la filtration chez les cordés primitifs). Ces fentes se développent de différentes façons chez les vertébrés.

Présence d'une queue bien développée en position post-anale.

B\ Origine de l'embranchement des cordés.

L'embranchement des cordés remonterait à 500 millions d'années (cambrien) mais les plus vieux fossiles connus sont ceux de vertébrés. On pense que l'absence de structures calcaires expliquerait l'absence de traces.

C\ Les vertébrés.

Les vertébrés sont caractérisés par une colonne vertébrale constituée de vertèbres métamériques. Le crâne sert à la protection du cerveau. La colonne est un support et une protection de la moelle épinière.

Classiquement, on divise les vertébrés en deux groupes : les agnathes et les gnathostomes. Ces derniers sont divisés en six groupes : les chondrichthyens, les ostéichthyens, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères.

Tous les vertébrés, pendant leur développement, ont une série d'organes communs :

- Le pharynx. Chez les poissons, c'est de ce pharynx que dérivent les arcs branchiaux qui donnent les branchies.
- Présence d'un ou deux reins chargés de filtrer les fluides internes. Ils servent aussi à l'excrétion.
- Présence d'un foie qui sert à la transformation, au stockage et à la détoxification des substances nutritives apportées par le sang.
- Présence d'un arc neural qui forme la partie inférieure et supérieure des vertèbres.
- Présence de deux yeux latéraux.
- Présence d'un système acoustico-vestibulaire constitué de canaux semi-circulaires, de statocystes et de la ligne latérale pour certains vertébrés.
- Présence d'un cerveau complexe comprenant le bulbe olfactif, le bulbe visuel, le bulbe auditif, les hémisphères cérébraux et le cervelet.
- Présence d'un système endocrinien développé et de différentes glandes (thyroïde, surrénales, gonades).

II\ Les Agnathes.

Les agnathes sont les vertébrés les plus anciens. Leur organisation est rudimentaire. Ils ont longtemps été considérés comme des « poissons ». Il en existe deux types fondamentaux dont les descendants sont la Lamproie et la Myxine.

Les agnathes sont aquatiques. Leur corde est persistante. L'appareil respiratoire branchial est plus ou moins isolé du pharynx. Les branchies sont localisées dans les poches branchiales ; chacune correspondant à un métamère. Les poches sont séparées par les arcs squelettiques branchiaux.

Le squelette est rudimentaire, cartilagineux. Les agnathes présentent souvent un squelette dermique ossifié. Ils sont caractérisés par l'absence de mâchoire, de vraies dents, de ceinture, de nageoire ou de membre pair.

A\ Les agnathes fossiles ou classe des Ostrachodermes.

Les Ostrachodermes possèdent une carapace sur le tégument. Leur nutrition est microphagique ; la bouche restant constamment ouverte. Ils sont regroupés en deux ensembles.

1\ La sous-classe des Ptéraspidomorphes.

Ce sont les plus anciens vertébrés connus. Les plus abondants des ptéraspidomorphes étaient les hétérostracés (du silurien au dévonien). On comptait 300 espèces.

Les hétérostracés avaient un squelette externe en deux parties :

- Un bouclier céphalo-thoracique avec éventuellement un rostre.
- Une multitude de plaques recouvrant le corps un peu comme les écailles de poisson.
- On pouvait aussi trouver des épines sur ce squelette externe, quelle que soit la partie du corps.

La chambre branchiale était recouverte par le bouclier. Il y avait une ouverture sur le côté. La queue était hétérocerque où le lobe ventral, développé, recevait le squelette axial.

2\ La sous-classe des céphalospidomorphes.

- Le super-ordre des Ostéostracés.

Le groupe des ostéostracés est le mieux connu des agnathes fossiles. Ils avaient une tête large et aplatie. Les yeux étaient sur la face dorsale, rapprochés l'un de l'autre.

Le bouclier était bien développé et pouvait avoir une longue corne postérieure.

La queue était hétérocerque avec le lobe supérieur plus grand que le lobe inférieur..

Les nageoires (une ou plusieurs) dorsales avaient des appendices qui faisaient penser aux nageoires pectorales.

B\ La classe des cyclostomes.

On a deux lignées diverses qui persistent : les lamproies et les myxines. Les deux lignées perdent le bouclier céphalo-thoracique. L'endo-squelette est cartilagineux ; le régime alimentaire microphage, au moins à l'état larvaire.

1\ La sous-classe des Pétromyzonoïdes (des lamproies).

Les lamproies forment le groupe le plus nombreux des cyclostomes avec neuf genres et trente cinq espèces.

- Anatomie.

Le corps est long, cylindrique, recouvert d'une peau nue et visqueuse, riche en cellules à mucus. Les nageoires sont impaires, dans le plan sagittal du corps avec deux nageoires dorsales séparées par un court intervalle et une nageoire caudale. Ce sont de simples replis du tégument. Qui n'ont pas de rôle important dans la propulsion. Celle-ci est assurée par des mouvements ondulatoires du corps (comme chez les anguilliformes). La bouche est arrondie, antérieure et sert à la succion. Elle ressemble à un entonnoir tapissé de denticules cornés, renouvelables périodiquement.

- Le squelette.

Le squelette est composé d'une série d'arcs cartilagineux, ouverts dorsalement. C'est sur la face dorsale des arcs que passe le système nerveux.

- La musculature.

Il existe des masses musculaires disposées symétriquement le long de la corde. Elles ne sont pas divisées comme on pourrait l'observer chez les poissons où l'on a des muscles latéro-dorsaux et latéro-ventraux.

- L'appareil digestif.

L'appareil digestif forme un tube allongé et droit. Au niveau de la bouche, on trouve une langue râpeuse. La bouche est suivie par un œsophage prolongé par l'intestin qui comprend une valvule spirale.

- L'appareil circulatoire.

L'appareil circulatoire rappelle celui des poissons. Le cœur a trois cavités successives : le sinus veineux, l'oreillette et le ventricule. L'hémoglobine du sang est légèrement différente de celle des vertébrés. Elle s'apparente plus à celle des invertébrés (érythrocrurine).

- Les organes sensoriels.

On trouve des yeux primitifs, une oreille interne comprenant deux canaux semi-circulaires. La région antérieure présente dix paires de nerfs crâniens qui se détachent du cerveau.

- Biologie.

La bouche fonctionne comme une ventouse : elle s'attache à un substrat dur (pour combattre le courant) ou sert à la nutrition en se fixant sur un poisson. Les adultes sont souvent des ectoparasites de poissons et sucent leurs proies. → Ce sont des carnassiers sans mâchoire. On trouve dans la bouche, des glandes spécifiques qui sécrètent des substances anticoagulantes pour avaler plus facilement le sang des proies.

Les lamproies ne se reproduisent qu'une fois dans leur vie. Le cycle est à moitié en mer, à moitié en eau douce. Les œufs donnent des larves (larve ammocète) qui vivent plusieurs années dans les sédiments des rivières. Elles subissent la métamorphose et retournent vers la mer (en automne et hiver). Elles subissent ensuite une phase de grossissement et de maturation sexuelle. Les adultes font la montaison (au début de l'hiver) et la reproduction a lieu au cours du printemps. Le cycle est appelé « migration anadrome » (les adultes, marins, se reproduisent en eau douce) (les animaux catadromes ont les adultes qui vivent en eau douce et la reproduction a lieu en mer Exemple : les anguilles).

La remontée des adultes en eau douce se fait par différents moyens : ils peuvent se déplacer seuls en nageant ou rampant ou prendre une « taxi ». Dans ce dernier cas, il s'accroche sur un poisson migrateur. Pendant la montaison, ils vivent sur leurs réserves (ne mangent pas) et s'amaigrissent. Ils se reproduisent dans des petites rivières à fonds sableux ou pierreux. Pendant l'accouplement, la femelle est fixée sur un substrat et le mâle, fixé sur la tête de la femelle. La fécondation est externe et les œufs sont fécondés au fur et à mesure de la ponte. Les adultes meurent ensuite.

Certaines espèces vivent constamment en rivière (comme la « lamproie de Planer »). Là, la phase larvaire est de longue durée (7 à 8 ans dans les sédiments). Les adultes sont juste là pour la reproduction.

La lamproie marine est consommée (Lamproie à la Bordelaise). La lamproie de Planer peut être utilisée comme appât.

2\ La sous-classe des Myxinoïdes (des myxines).

Les myxines n'ont pas de parenté directe avec les lamproies. On trouve chez les myxinoïdes six genres et une quinzaine d'espèces.

- Anatomie.

Le corps a une forme proche de celle de la lamproie. On ne trouve qu'une nageoire caudale, très réduite. La peau est visqueuse, riche en cellules à mucus.

La bouche est située ventralement et est entourée de huit tentacules courts. Elle est en forme de fente.

- Les organes sensoriels.

Les organes sensoriels sont représentés par des yeux primitifs, situés sous la peau et par une oreille interne à un canal semi-circulaire.

- Le squelette.

Le squelette est beaucoup plus rudimentaire que celui des lamproies. Il ne contient pas d'éléments vertébraux.

- Biologie.

Quelques espèces sont hermaphrodites mais la majorité ont les sexes séparés. Toutes les myxines sont marines, dans les zones tempérées et froides (atlantique nord). Elles sont benthiques, vivant en grande partie enfouies dans le sédiment. Ce sont des carnivores qui vont faire des trous dans le corps de la proie pour en dévorer l'intérieur. Elles vont essentiellement s'attaquer aux poissons blessés, mourant ou morts.

C\ Ressemblance gnathostomes/agnathes.

Les lamproies sont beaucoup plus proches des gnathostomes que des myxines. On trouve une cinquantaine de caractères évolués chez les lamproies. Le partage de caractères évolués est appelé « synapomorphie ». Par exemple, on peut citer : présence d'une hypophyse subdivisée, innervation cardiaque, osmorégulation, présence de muscles associés aux nageoires impaires.

Les myxines ont des caractères très primitifs, comme : un système immunitaire très rudimentaire, un cœur sans innervation. Elles sont incapables de survivre à une petite modification de salinité.

L'étude synapomorphique fait penser que les lamproies et les gnathostomes ont un ancêtre commun différent de celui des myxines. Dans la classification récente (20 ans !!!) il a été créé un groupe pour les myxines et un groupe pour lamproies et gnathostomes.

III\ Les gnathostomes.

Les gnathostomes apparaissent à l'ordovicien. Ils partagent plusieurs caractères évolués qui attesteraient d'une ascendance commune : la myéline dans le système nerveux ; dans l'oreille interne, la présence de trois canaux semi-circulaires formant l'organe de l'équilibration ; des mâchoires qui dérivent des arcs squelettiques viscéraux 2 et 3 qui s'associent et s'articulent pour former la mâchoire et la suspension de la mâchoire sur le crâne. Les mâchoires permettent la capture de proies plus importantes. Il y a le développement de nageoires paires (qui donneront les membres) qui sont les éléments essentiels de la mobilité. La mobilité est importante pour la recherche de nourriture et de partenaire sexuel. Ces innovations font que les gnathostomes supplantent les agnathes et envahissent les eaux douces et les continents.

A\ Les placodermes.

Les placodermes sont les premiers gnathostomes à être apparus (silurien → carbonifère inférieur). Ils avaient une plaque dermique osseuse, une mâchoire inférieure bien développée et une queue généralement hétérocerque. Ils se rapprochent du groupe actuel des chondrichthyens par la présence d'organes d'accouplement (les claspers). Ils ont vite disparu et ce sont les chondrichthyens qui les ont supplantés.

B\ Les chondrichthyens.

Les chondrichthyens sont les poissons cartilagineux. Les premiers représentants sont apparus à la fin du dévonien. Ils persistent de nos jours par deux groupes.

- Les sélaciens (ou élasmobranches) : ce sont les requins et les raies. Les requins ont leurs fentes branchiales latérales (pleurotrèmes) et les raies les ont ventrales (hypotrèmes).
- Les holocéphales (ou chimères).

Dans ce groupe (chondrichthyens), les principales innovations par rapport aux placodermes sont la présence d'une dentition avec des dents non soudées à la mâchoire qui sont remplacées successivement et la disparition du squelette dermique (bouclier) qui est remplacé par un squelette cartilagineux.

1\ Les sélaciens.

L'appareil mandibulaire est hypertrophié. 5 à 7 fentes branchiales sont ouvertes directement à l'extérieur. Ils possèdent un spiracle (ou évent) situé en arrière des yeux. Ce spiracle permet l'entrée d'eau en direction des branchies quand la bouche est fermée ou quand les animaux mangent. Les requins sont plutôt pélagiques alors que les raies sont plutôt benthiques.

2\ Les holocéphales.

Les holocéphales ont très peu évolués depuis leurs origines. Ils sont caractérisés par une mâchoire supérieure soudée au neurocrâne et des fentes branchiales recouvertes par un repli tégumentaire. Il peut y avoir fusion des dents pour former des plaques dentaires.

Ces deux groupes sont bien adaptés au milieu aquatique. Ils n'ont pas de paupières mais l'œil est en permanence humidifié et nettoyé. Les deux groupes n'ont ni oreille moyenne ni oreille externe : ils n'ont pas d'audition. Ils peuvent analyser finement les vibrations du milieu aquatique grâce à la présence de récepteurs situés sur la « ligne latérale ». Ce sont les neuromastes, situés dans des petits canaux, qui forment la ligne latérale. Les neuromastes sont composés de cellules ciliées entourées de mucus.

Les requins sont les plus spécialisés dans la réception d'ondes sonores et électriques. En effet, en plus de la ligne latérale, ils possèdent au niveau du museau, une série d'organes électro-récepteurs : les ampoules de Lorenzini. Ces organes sont ultra-sensibles à des variations de tension électrique. Ils détectent jusqu'à 10^{-6} V de variation : ils détectent donc des tensions inférieures à celles qui existent dans le système nerveux de tout animal.

Les chondrichthyens ont une flottabilité négative (coulent quand ils sont arrêtés) à cause de la densité de leur corps qui est supérieure à celle de l'eau de mer. Il va y avoir mise en place d'un processus leur permettant de dépenser moins d'énergie pour rester à la même profondeur : accumulation de corps gras dans le foie.

Les sélaciens ont un foie qui représente $1/5^{\text{ème}}$ du poids du corps alors que les poissons osseux ont un foie qui ne représente que $1/20^{\text{ème}}$ du poids du corps.

L'absence de pièces osseuses permet au squelette cartilagineux d'être trois fois moins lourd.

C\ Les Téléostomes (acanthodiens, actinoptérygiens, sarcoptérygiens et tétrapodes).

Tous les téléostomes ont un squelette interne ossifié. Ceux qui portent des nageoires ont des rayons dermiques qui soutiennent ces nageoires. Ces rayons sont constitués de lépidotriches (écailles modifiées).

1\ Les acanthodiens.

Les acanthodiens n'ont pas de représentants actuels. Ce sont les premiers téléostomes et sont rencontrés dès le silurien inférieur. Ils se sont éteints entre le carbonifère et le permien.

Ils avaient des nageoires anale, dorsales, pectorales et pelvienne soutenues par une grande épine osseuse. Leur queue était hétérocerque.

2\ Les actinoptérygiens.

Dans ce groupe, on trouve tous les poissons osseux sauf évidemment les acanthodiens. Ils sont apparus au silurien supérieur et sont caractérisés par la présence d'un opercule osseux qui recouvre la région branchiale. Les dents ont fusionné aux os des mâchoires. Le bord supérieur de la bouche est formé par deux os (pré maxillaire et maxillaire).

3\ Les sarcoptérygiens.

On pense que les sarcoptérygiens sont les ancêtres possibles des tétrapodes actuels. Ils ont encore une forme de poisson et leurs membres ressemblent plus à des ébauches de membres de tétrapodes qu'à des nageoires de poisson. L'articulation est de type rotule, située entre la ceinture et le membre.

Ils sont bien représentés à l'état fossile mais il existe quelques lignées ayant persisté (dipneustes, crossoptérygiens).

α\ Les dipneustes.

Les dipneustes présentent deux types de respiration, branchiale et pulmonée. Ils ont des caractères de poisson et de tétrapodes.

Les caractères de poisson sont :

- un système sensoriel latéral (ligne latérale)
- un corps recouvert d'écailles
- Un système circulatoire branchial.

Les caractères de tétrapodes sont :

- Un cœur partiellement cloisonné (au niveau des oreillettes)
- Ils ont une veine et une artère pulmonaire
- La mâchoire inférieure a une suspension autostylique
- Ils possèdent un véritable coude mobile ainsi qu'un radius et un cubitus de longueur identique
- Il y a présence de deux poumons fonctionnels. Insérer document 23.

Les poumons dérivent de la vessie gazeuse. Le canal reliant les poumons au tube digestif débouche ventralement au niveau de l'œsophage. On trouve une fente : la glotte.

β\ Les crossoptérygiens.

β1\ Les actinistiens.

Les actinistiens sont apparus au dévonien. Ils étaient bien diversifiés. Ils ont régressé et il n'existe plus qu'une forme, le coelacanth. Il a été découvert à la fin des années 30, au large de Madagascar. Les coelacanthes sont caractérisés par l'absence de narines internes bien que l'on trouve deux orifices faisant penser à des choanes. Ces orifices sont recouverts par une mince couche cellulaire, qui les rend non fonctionnels.

Ils ont aussi des poumons, non fonctionnels, car ils sont calcifiés et ossifiés. Les branchies sont bien développées et la circulation sanguine est typique des poissons.

β2\ Les rhipidistiens.

Les rhipidistiens n'existent que sous la forme de fossiles. Ils présentaient un crâne dont l'architecture est semblable à celle des tétrapodes. Il y a présence des maxillaires et des prémaxillaires. Le premier segment des nageoires pectorales ressemble à l'humérus des tétrapodes.

On pense qu'ils seraient les ancêtres les plus probables des tétrapodes actuels.

4\ Les tétrapodes ou la sortie des eaux.

La sortie des eaux a nécessité des modifications anatomiques et physiologiques. Il y a respiration pulmonée sauf chez certains animaux qui conservent des branchies ayant surtout un rôle respiratoire à l'état larvaire.

Les tétrapodes vont devoir s'adapter à la dessiccation et développer un système de régulation du milieu interne (osmorégulation); lutter contre la gravité (développement de membres puissants et rigidification de la colonne vertébrale). Les membres puissants servant à la locomotion voient leurs articulations se modifier (poignet pour les membres antérieurs, chevilles et genoux pour les membres postérieurs).

On va observer une adaptation au niveau de la reproduction : il y a deux choix comme stratégie de reproduction :

- La stratégie « r » : production d'un grand nombre d'œufs en espérant que quelques uns se développent. Les œufs sont sans protection.
- Stratégie « K » : cette stratégie consiste à produire un nombre d'œufs limité tout en assurant la protection de ces œufs pendant leur développement.

Les tétrapodes sont divisés en deux groupes :

- Les amphibiens
- Les amniotes.

Les amphibiens.

Les lépospondyles sont les amphibiens fossiles ; les lissamphibiens sont les amphibiens actuels. Ces derniers regroupent les Anoures, les Urodèles et les Apodes (ou Gymnophiones).

Les lissamphibiens ont une peau lisse. Leurs caractères généraux sont :

- Tétrapodes,
- Anamniotes,
- Peau nue et humide,
- Pentadactyles (sauf les apodes)
- La respiration larvaire est branchiale et la respiration adulte est pulmo-cutanée.
- Le cœur est constitué de trois cavités (deux oreillettes et un ventricule)
- Le crâne s'articule sur la colonne vertébrale par deux condyles avec l'atlas.
- Le développement post-embryonnaire comporte généralement une métamorphose. Ils passent une partie de leur vie en milieu aquatique.

a\ Caractères de familles

α\ Les anoures (super-ordre).

Les anoures regroupent environ 3800 espèces. Ils sont caractérisés par :

- L'absence de queue chez les adultes.
- Les pattes postérieures sont longues, repliées en « Z » (pour le saut).
- Présence d'une palmure entre les doigts des mains et ceux des pieds.
- La larve est un têtard avec des branchies.
- Le nombre de vertèbres est réduit (5 à 8).
- Radius/cubitus et tibia/péroné sont soudés

Ces anoures sont ensuite divisés en famille à partir de la structure des vertèbres

α1\ La famille des Bufonidés

Il y a absence de dents sur les maxillaires. Exemple, le crapaud vulgaire ou *Bufo bufo* ; il vit sur le milieu terrestre. Il ne retourne à l'eau que pour la reproduction.

α2\ La famille des Hylidés (ou rainettes).

Ces espèces sont arboricoles (dans les arbres). On peut observer une courbure des dernières phalanges qui donnent des crochets.

Exemple : *Hyla arborea*.

α3\ La famille des Ranidés.

Ce sont toutes les espèces du type *Rana*.

β\ Les urodèles.

Les urodèles regroupent environ 360 espèces. I

Il y a une persistance de la queue chez les adultes ; la fécondation est semi-interne ; les branchies persistent jusqu'à la fin de la métamorphose ; ils n'ont pas de tympan.

On trouve plusieurs ordres comme les Salamandridae (salamandre et triton). Le plus grand des urodèles est *Megalobatrachus japonicus* (la salamandre géante) qui fait 1 mètre 60 pour 10 kilogrammes. Il appartient aux cryptobronchidae.

γ\ Les apodes.

Les apodes sont serpentiformes. Ils mesurent entre 10 centimètres et un mètre. Ils ont des écailles dans le derme ; leurs yeux sont atrophiés et les adultes pondent dans des terriers proches de pièces d'eau.

Les larves atteignent un développement avancé à l'intérieur de l'œuf. L'éclosion donne des jeunes à respiration pulmonaire.

b\ La reproduction chez les amphibiens.

α\ Les anoures.

Les mâles et les femelles vont se réunir dans des pièces d'eau où les mâles sont bruyant. Il y a deux types d'accouplement selon la position du mâle sur la femelle. Insérer document 37. L'accouplement axillaire et l'accouplement lombaire.

La fécondation est externe et 2000 à 6000 œufs sont pondus. Les œufs fécondés sont protégés par une enveloppe visqueuse pour éviter la dispersion (Insérer document 38). En plus de l'enveloppe, certaines espèces produisent une écume protectrice formée à partir de sécrétions cloacales, d'eau et de bulle d'air. Le tout entoure la ponte et la partie extérieure se durcie, ce qui permet aux œufs de résister à de courtes sécheresses. Insérer document 39.

De ces œufs vont éclore des têtards (à tête globuleuse). La tête possède un bec à dents cornées. Le reste du corps est allongé, avec un aplatissement latéral. Dorsalement et ventralement, des replis cutanés donnent des « nageoires ». Ces larves ont un régime alimentaire herbivore. Les têtards vivent 3 à 4 mois dans l'eau avant de subir la métamorphose et de devenir de jeunes grenouilles pouvant quitter le milieu aquatique.

Toutefois, toutes les espèces d'anoures ne se reproduisent pas dans l'eau. Certains pondent sur des rochers ou des plantes surplombant une pièce d'eau. A l'éclosion, les larves tombent dans l'eau.

β\ Les urodèles.

Exemple du Triton palmé.

Ces tritons passent l'hiver le plus souvent dans l'eau. Au printemps, l'activité est importante, avec les font qui font une parade nuptiale (ils replient leur queue sur le côté et frétille). Les mâles déposent un spermatophore (contenant des spermatozoïdes) dans l'eau et reculent. La femelle va suivre son mâle et passer sur le spermatophore. Elle va le capter avec ses lèvres cloacales ; il y a alors fécondation interne ou semi-interne.

Après la fécondation, la femelle pond ses œufs sur les feuilles de plantes aquatiques qu'elle va replier.

Les larves ont des branchies extérieures bien visibles et les membres sont beaucoup plus grêles que chez les adultes.

Ces larves ont une croissance rapide et la métamorphose a lieu en fin d'été.

c\ La métamorphose chez les amphibiens.

La métamorphose est un ensemble de processus qui aboutissent d'un plan de fonctionnement et d'organisation à un autre. Il y a des modifications structurales et fonctionnelles (apparition de nouveaux organes et/ou modifications et/ou disparition d'organes larvaires). Le déterminisme est de nature hormonale.

La métamorphose est plus complexe chez les anoures que chez les urodèles.

α\ Les organes nouveaux.

Il y a apparition de vraies dents, de paupières, de la langue, de glandes cutanées pluricellulaires, de poumons et de membres (pour les anoures uniquement).

Les pattes postérieures apparaissent en premier. Les pattes antérieures commencent à se développer dans les chambres branchiales.

β\ Les transformations.

Il y a transformation de l'appareil circulatoire, de la musculature, de la peau. Il y a raccourcissement de l'intestin. La bouche s'agrandit et les yeux font saillie.

γ\ La disparition.

Le bec et les dents cornées disparaissent, ainsi que les branchies et la queue chez les anoures.

δ\ Les modifications de la métamorphose et de la fécondation.

Il peut y avoir réduction ou suppression de la métamorphose. Chez certains anoures tropicaux qui pondent des œufs riches en vitellus, il y a disparition du stade têtard. Les œufs donnent des jeunes semblables aux adultes. Le nombre d'œufs pondus est réduit à cause de la grande quantité de vitellus à produire.

De plus, tous les anoures et urodèles ne libèrent pas forcément les œufs dans le milieu extérieur. Par exemple, le crapaud accoucheur récupère les œufs fécondés (forment un long chapelet) **Insérer document 39**. Il les entortille autour de ses pattes postérieures. Il les garde pendant environ trois semaines. Quand les têtards sont prêts à sortir, le mâle va vers un point d'eau où les larves seront libérées.

Il existe d'autres espèces d'anoures qui portent les œufs sur le dos. La peau de ce dos se gonfle et sécrète une substance protectrice qui enveloppe l'ensemble de la ponte.

D'autres espèces portent les œufs et les larves au niveau de poches incubatrices (parfois même dans les sacs vocaux). On trouve dans ce cas les espèces arboricoles qui portent leurs œufs dans une poche dorsale.

Un espèce d'anoures australiens va, après la fécondation, avaler les œufs et les incuber dans l'estomac. Les femelles cessent alors de s'alimenter. La capsule des œufs synthétise une substance qui arrête la production d'enzymes digestives chez la mère. A l'éclosion, les têtards sont expulsés par la bouche. La femelle pourra alors recommencer à se nourrir.

On trouve aussi des espèces vivipares. Chez elles, il existe au niveau de l'oviducte, une poche incubatrice dans laquelle les têtards ont des rapports nourriciers avec la mère. Ce phénomène est comparable à ce qu'il se passe chez les mammifères.

Biologie Animale

Chapitre 7 :

L'Hominisation.

Généralités.

L'hominisation, en biologie générale, peut être vue d'un point de vue du vivant et c'est alors une étude d'organismes qui vont se multiplier et évoluer au fil du temps, ou bien, du point de vue des pressions écologiques et ce qui pousse l'Homme à évoluer.

L'Homme n'est classé dans le règne animal que depuis le XVIII^{ème} siècle.

Au cours de l'évolution, les facteurs écologiques ont été remplacés par des facteurs culturels (de plus en plus) : l'Homme s'est affranchi des facteurs écologiques et a conquis tous les milieux. Par exemple, pour sa thermorégulation, quand l'Homme a froid, il met un pull au lieu d'attendre l'augmentation de sa thermogénèse.

Quatre grandes étapes dans l'évolution humaine.

I : L'origine de la lignée humaine.

Cette origine est située entre 6 et 2 millions d'années. C'est l'apparition de fossiles qui progressivement mène au genre *Homo*.

II : Origine de l'Homme moderne (*Homo sapiens*).

Quand est apparu l'Homme. Quelles ont été les modalités de l'apparition de cette espèce (entre 500 000 et 100 000 ans).

Les premiers de cette espèce étaient des chasseurs-cueilleurs. Ils étaient peu nombreux (faible densité de population).

III : La néolithisation.

La néolithisation est le passage d'une économie de subsistance de chasseurs-cueilleurs à une économie d'agriculture (plus forte densité). C'est l'apparition d'une forte démographie.

IV : La transition démographique.

En Europe, cette transition démographique a eu lieu à la fin du XVIII^{ème} siècle avec l'augmentation des conditions de vie et l'apparition des vaccins (par Jenner). Il y a alors eu un « boum » démographique. Par la suite, il y a eu la découverte des antibiotiques (XX^{ème} siècle) et la découverte de la pilule, moyen de contraception réellement efficace.

I\ L'Hominisation.

L'hominisation est l'apparition d'hominidés bipèdes ; l'apparition de la lignée conduisant au genre *Homo*.

Actuellement, l'Homme est le seul bipède. Il y a eu une époque, entre 4 et 2 millions d'années, où on avait plusieurs familles d'animaux bipèdes.

A partir de quand parle-t-on du genre humain ?

Les animaux les plus proches de nous sont les grands singes : gorilles, chimpanzés (dont le Bonobo) et orang-outang. Ces animaux sont proches sur les plans anatomique, physiologique et génétique.

Sur le plan anatomique, il existe des différences caractéristiques entre les singes et l'Homme :

- Pour la bipédie, le squelette des membres inférieurs (et surtout le fémur) est modifié mais aussi le bassin, la colonne (tronc) et le trou occipital. Chez l'Homme le fémur possède une orientation particulière.
- Les différences au niveau du crâne.
 - Le neurocrâne est déterminé par le cerveau. La capacité crânienne humaine est d'environ 1440cm³, avec des variations comprises entre 1000 et 2000 cm³. Pour les singes (chimpanzés), la capacité moyenne du neurocrâne est d'environ 300 cm³. Certains cerveaux de gorille atteignent un volume de 440cm³. La capacité crânienne mise en place chez l'Homme au cours de l'évolution est telle que l'Homme est la seule espèce à avoir des problèmes lors de la mise bas.
 - Le splanchnocrâne, chez l'Homme montre un système masticateur réduit, ce qui se répercute sur les dents. La forme des dents est particulière. Chez les singes, la mastication est réalisée par un système musculaire ultra-puissant : il y a alors un développement de super-structures osseuses permettant l'absorption des chocs → ce sont les bourrelets sus-orbitaires.

D'un point de vue non anatomique, la différence principale de l'Homme est la conscience de soi. Mais pour ce qui est de la retrouver dans les fossiles... Toutefois, il existe les outils et leur utilisation. Pour caractériser une espèce ayant conscience de soi, on essaie de relever les traces d'outils complexes nécessitant l'utilisation de chaînes opératoires complexes. Les premiers outils complexes ont plus de 2,5 millions d'années : ce sont des blocs avec des éclats de pierre. Une fois que l'on a les outils, il faut retrouver l'animal capable de faire ces actions.

On a pensé à l'australopithèque (que l'on croyait humain) mais son volume crânien n'était que de 330cm³ et devait donc avoir un cerveau complexe, soit l'ancêtre *Homo* est non connu.

A 6 millions d'années, on a retrouvé un fossile dont on n'a pas la capacité crânienne mais dont on a le fémur et quelques dents : « *Millenium ancestor* ». Ce fémur indique la bipédie et les dents indiquent que le système masticateur était déjà réduit (grâce aux dents). Ce serait ces animaux qui auraient eu des descendants ayant fait ces outils.

Avant les six derniers millions d'années, on a le problème de l'absence de gisement de fossile.

A partir de quand parler du genre *Homo* ?

A 2 millions d'années, on a trouvé des sujets (en Afrique) qui atteignaient 600cm³ de neurocrâne ; ils ont été classés dans le genre *Homo*. A partir de 1,8 millions d'années, on trouve des fossiles avec 700cm³ de neurocrâne qui sont totalement et avec un système » masticateur réduit. L'ensemble des fossiles que l'on trouve de cette époque tous d'Afrique.

Quels ont pu être les facteurs écologiques ayant permis l'arrivée du genre *Homo* ?

Une théorie controversée : Entre 10 et 2 millions d'années, il y a eu une sécheresse en Afrique : toute la partie est serait devenue une savane. Les déplacements se seraient fait de plus en plus au sol, d'où, la bipédie. La partie ouest n'aurait pas subi de changement ; les espèces n'auraient pas évolué.

Après deux millions d'années, à partir de 1,8 millions d'années, on a des restes d'hominidés en Eurasie → ce sont les *Homo erectus* vont conquérir l'Asie. L'Amérique et l'Australie ont été atteinte récemment : 20 000 ans pour l'Amérique et 60 000 ans pour l'Australie.

A 500 000 ans, on a des fossiles à plus de 1000 cm³ de neurocrâne. On peut observer des restes d'innovations culturelles ; de plus, le feu a été domestiqué.

II\ L'origine de l'Homme moderne.

Plusieurs théories s'affrontent quant à l'origine de l'Homme moderne.

Théorie 1 : La théorie polycentrique.

Entre 500 000 ans et 60 000, en Afrique et en Asie, on trouve des fossiles d'*Homo sapiens sapiens*. Il doit y avoir une évolution sur place des *Homo erectus* Africains et des *Homo erectus* asiatiques, afin de donner les populations actuelles. → C'est une évolution graduelle de sujets engagés graduellement dans la lignée d'*Homo sapiens*.

Cette hypothèse est basée sur des fossiles et leurs particularités anatomiques. L'*Homo erectus* asiatique présente des caractéristiques fréquentes : les incisives supérieures sont mises en pelle, les premières molaires inférieures ont trois racines, l'os occipital a un point supérieur d'ossification → os triangulaire aussi connu sous le nom « d'os des Incas ».

Théorie 2 : La théorie monocentrique.

Cette théorie est défendue par les généticiens.

Quand on voit la variabilité génétique des populations modernes, on voit que celle-ci est faible : donc, au maximum, notre ancêtre commun date d'il y a 500 000 à 100 000 ans. → Toute l'humanité viendrait d'une seule souche apparue dans cet intervalle de temps. Or, actuellement, c'est en Afrique que l'on a le maximum de variabilité : ce n'est plus une naissance graduelle mais une naissance par clade. Une mutation d'*Homo erectus* africain aurait donné cet ancêtre qui aurait reconquis la planète.

Toutefois, on peut se demander pourquoi *Homo erectus* a disparu.

Les *H. erectus* devaient avoir un proto-langage alors que *H. sapiens* ont un langage.

Les généticiens travaillent sur les populations actuelles et font des études de variabilité. Ils se basent sur des marqueurs comme les groupes sanguins mais aussi les marqueurs nucléaires non liés aux chromosomes sexuels (ils sont peu utilisés), les marqueurs liés au chromosome Y (ils sont intéressants) car ils permettent de remonter dans une lignée) et les marqueurs d'ADN mitochondrial (transmis par la mère).

Il va y avoir des études (statistiques) de la diversité dans une même population et entre différentes populations. Il faut prendre en compte toutes les mutations, ce qui fait apparaître le problème de l'horloge moléculaire. Beaucoup d'hypothèses ont été formulées. Pour s'aider dans l'horloge moléculaire, les généticiens ont pris le cas de l'Australie, colonisée il y a 60 000 ans. Les aborigènes ont été séparés des autres populations pendant des dizaines de milliers d'années. Ils ont donc subi des mutations sans mélanger leur génome avec d'autres populations. En connaissant le nombre de mutations et la durée nécessaire à celles-ci, on peut avoir une idée de l'horloge moléculaire.

La variabilité de l'ADN mitochondrial et du chromosome Y est relativement faible et quand on applique l'horloge moléculaire, on obtient l'ancienneté des variations. Elles sont comprises entre 150 000 et 200 000 ans pour l'ADN mitochondrial et comprises entre 60 000 et 100 000 ans pour le chromosome Y.

Les populations présentant une variabilité maximale sont Afrique de l'est (Ethiopie, Somalie). Pour les généticiens, il n'y a qu'une origine de l'Homme moderne, car il n'y a pas assez d'ancienneté.

De plus, la possibilité d'avoir deux apparitions d'une même espèce dans des lieux différents dans le monde est quasiment nulle. Les plus anciens fossiles connus de l'Homme moderne sont en Afrique et date de la période donnée par les généticiens.

Le décalage existant entre les variations données par l'ADN mitochondrial et le chromosome Y peuvent être expliquées du fait que les vitesses de variation de certains marqueurs peuvent changer au cours du temps. De plus, on n'est pas sûr de prendre le bon marqueur ni la bonne mutation. Donc, ce que l'on voit dépend du marqueur que l'on regarde.

On peut aussi se demander pourquoi cette espèce moderne aurait dominé et remplacé les autres : elle avait le langage (le langage est différent de communication) qui est associé à des possibilités d'abstraction.

Théorie 3 : Théorie de l'hypothèse réticulée.

Cette théorie tient compte des données de paléontologie et de génétique. Elle est basée sur le fait que la définition d'espèce est donnée par des scientifiques et que dans la nature, il y a de nombreuses exceptions.

L'Homme moderne est apparu il y a entre 100 et 200 000 ans, et, grâce à ses capacités, il aurait supplanté les autres populations ou se serait croisé avec elles. Ceci expliquerait l'existence de certains marqueurs morphologiques.

III\ Le cas du peuplement de l'Europe et des Néandertaliens.

L'Europe est un schéma à part. il y a un gisement archéologique de 1,2 million d'années mais sans ossement humain (qu'avec des objets). Vers 500 000 ans, on a quelques restes humains, attribuables à des *Homo erectus*. A partir de 200 000 ans et surtout 100 000 ans, les *Homo erectus* évoluent et vont se différencier de plus en plus : il y a apparition de caractéristiques différenciées. Ces nouveaux humanoïdes portent des caractères archaïques comme un torus (bourrelet frontal) ; des caractères partagés avec l'Homme moderne (la capacité crânienne de ces humanoïdes est supérieure ou égale à celle des sapiens) ; des caractères morphologiques propres, comme un mode de croissance du crâne qui est à l'origine d'un crâne très allongé : « face en museau ».

A 70 000 ans, toute la population de l'Europe porte ces caractères.

On hésite encore à mettre cette population comme une espèce à part (*Homo neandertalensis*) ou comme une sous-espèce (*Homo sapiens neandertalensis*).

Ce groupe, entre 40 000 et 20 000 ans avant JC va disparaître. Il est associé en Europe à une industrie en pierre (Moustérienne), faite d'éclats. La disparition est brusque en certains endroits, mais il existe encore quelques lieux où cette « espèce » persiste. En même temps, il va se mettre en place un nouveau type d'industrie de pierre en lame (l'Aurignacien), associée à des squelettes d'Hommes modernes.

Il semble que ce soit l'Homme moderne qui ait effectué les premières peintures.

- Il y aurait eu une différenciation des *Homo erectus* car l'Europe, à ce moment là, était un cul de sac : au cours des glaciations quaternaires, les glaciers ont fait un arc de cercle de la Belgique à la mer noire et cette population s'est retrouvée isolée. Il y a eu l'isolation mais aussi la faible densité de population. Il semblerait y avoir eu un phénomène comparable en Indonésie.

- On voit que l'Homme moderne a reconquis l'Europe à partir de 40 000 ans. Il y a ensuite une diffusion qui dure 20 000 ans. Les modalités de remplacement sont de différents types :
 - Remplacement sans croisement car les deux populations sont différentes. Il peut y avoir une barrière entre les deux espèces.
 - Les néandertaliens ont la même capacité crânienne que les Homo sapiens ; on peut penser qu'ils avaient aussi une pensée symbolique car ils enterraient leurs morts. Quand il y a eu contact entre les deux espèces, il y aurait eu évolution de la technologie moustérienne. Sur le plan anatomique, on peut voir que les néandertaliens avaient la possibilité de parler car ils possèdent l'os hyoïde, comme les sapiens.

Il a été fait des études sur les fossiles pour savoir si l'on a un hybride, mais l'interprétation dans ces cas là est trop subjective.

Il a aussi été réalisé des études d'ADN néandertaliens faites à partir d'ADN mitochondrial extrait d'os à partir de trois sujets. Ces études ont bien confirmé que les néandertaliens s'étaient séparés il y a 500 000 ans. De plus, la variabilité de cet ADN est faible et ces variations ne recoupent quasiment pas celles des populations actuelles. Donc, soit personne ne dérive des néandertaliens (barrière entre espèces), soit il y a eu quelques croisements (donc pas de barrière) qui n'ont laissés que de rares traces.

IV\ De qui descendons nous ?

On considère que les premiers Homo sapiens étaient tous chasseurs-cueilleurs. A la suite de la disparition des glaciers, on a eu en différents points du globe, l'apparition d'un nouveau mode de subsistance : l'agriculture. Celle-ci est apparue dans les foyers primaires de néolithisation. Dans ces foyers, il existaient des plantes sauvages qui ont été domestiquées.

Le premier foyer européen est apparu dans le proche orient, avec des blés et des légumineuses sauvages. Progressivement, la population s'est accrue et a commencé à diffuser (elle a été suivie par les foyers écologiques). Des populations issues de ce foyer primaire se sont dirigées vers chypre puis vers les balkans. De là, elles ont pris deux voies différentes : une voie danubienne qui est arrivée dans le bassin parisien vers -4500 avant JC et une voie qui a suivi la côte méditerranéenne et qui est arrivée vers -5500 avant JC.

Ces néolithiques avaient une démographie beaucoup plus importante que les chasseurs cueilleurs. Ils les ont remplacés ou convertis à l'agriculture en leur faisant prendre la même démographie.

Avant, les discussions sur ces populations étaient basées sur des données archéologiques. Se sont ensuite rajoutées des données génétiques, sur le langage et enfin, des données apportées par le chromosome Y et l'ADN mitochondrial.

On peut voir que la quasi totalité des langues européennes actuelles sont parentes entre elles : ce sont des langues indo-européenne. Une hypothèse est que le noyau de cette langue était situé en Turquie et que celle-ci se serait déplacée d'ouest en est ; ce qui semble correct.

Le problème du Basque.

Le basque n'a aucun équivalent connu. Une hypothèse est que cette langue pourrait avoir comme origine les chasseurs cueilleurs. Il y aurait eu un replis de cette population dans la partie

ouest des pyrénées. On peut aussi voir que les basques ont un profil génétique particulier, comme le groupe sanguin O rhésus -, très présent dans cette population.

Aujourd'hui, on considère que moins de 20% des gènes que nous possédons proviendrait des chasseurs-cueilleurs. On trouverait un maximum de ces gènes vers l'ouest des Pyrénées, avec un gradient qui diminue jusqu'à la Garonne :

- Soit, il y a eu un tout petit noyau avec des personnes qui auraient diffusées ;
- Soit, les agriculteurs auraient repoussé cette population vers la partie ouest des Pyrénées.