

Partie I. Physiologie des invertébrés

1. Appareil circulatoire et circulation de l'hémolymph.
2. Respiration chez les Invertébrés.
3. Nutrition chez les Invertébrés.
4. Excrétion chez les Invertébrés.
5. Système nerveux des Invertébrés.

Chapitre 1. Les Appareils circulatoires et circulation de l'hémolymphe.

1. Introduction

La circulation correspond au transport, par un appareil spécialisé, **l'appareil circulatoire**, d'un liquide permettant d'approvisionner en nutriments et en oxygène toutes les cellules de l'organisme et d'évacuer les déchets produits par leur activité, comme le gaz carbonique résultant de la respiration des cellules. Le liquide, qui se charge en nutriments lors de la digestion et en oxygène lors de la respiration, est le **sang** chez les vertébrés et **l'hémolymphe** chez la plupart des autres animaux.

La nature du système circulatoire chez les invertébrés est directement liée à la taille, à la complexité et au style de vie des animaux. Certains animaux ont un système circulatoire fermé (ou clos) (Ex : les annélides, les mollusques gastéropodes et les vertébrés), d'autres ont un système circulatoire ouvert (Ex : les arthropodes et mollusques non gastéropodes), et certains d'autres sont dépourvus de l'appareil circulatoire (Ex : anémone de mer, coraux, méduses, éponges, hydres, nématodes).

2. Organisation générale des appareils circulatoires

L'appareil circulatoire est typiquement constitué d'un réseau de **vaisseaux** dans lesquels le **sang** ou **l'hémolymphe** sont mis en mouvement par des vaisseaux contractiles (Ex : ver de terre), par un **cœur** (Ex : vertébrés, mollusques, crustacés) ou par plusieurs cœurs (Ex : insectes).

2.1. Le liquide circulant (sang ou hémolymphe)

Dans le système circulatoire clos, le liquide circulant dans les vaisseaux est le sang. Il est séparé du liquide interstitiel mais échange avec ce dernier par diffusion.

Alors que, dans le système circulatoire ouvert, on trouve l'hémolymphe dans les vaisseaux et dans le milieu interstitiel. Il y a donc une continuité entre les vaisseaux et le milieu interstitiel.

2.2. Les différents types de cœurs

2.2.1. Pompe péristaltique :

Une vague de contraction, sans cesse renouvelée, se déplace le long d'un tube (propulsion péristaltique). Une zone de haute pression est créée devant la vague, ce qui pousse le liquide du tube dans la même direction que la vague.

Ce type de pompe est fréquent dans les tuyaux des systèmes digestif, urinaire, et reproducteur de tous les animaux. Dans le système circulatoire, les pompes péristaltiques sont le propre des invertébrés à l'exemple des annélides.

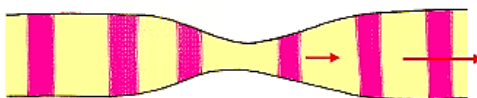


Figure 1 : Représentation schématique de la propulsion péristaltique.

2.2.2. Pompe à chambre (ou à compartiment)

Les muscles d'un compartiment (chambre) se contractent, ce qui pousse sur le liquide (éjection systolique). On appelle un tel compartiment un cœur. Les cœurs sont habituellement associés à des valves pour garantir la circulation dans un seul sens (Ex : Vertébrés, Mollusques).

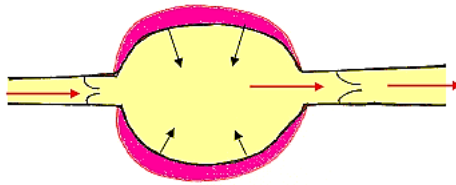


Figure 2 : Représentation schématique de l'éjection systolique.

2.2.3. Tube étirable/compressible

Les contractions concernent les muscles reliés aux vaisseaux (étirement diastolique), ce qui provoque l'étirement/compression du tube et pousse le liquide vers l'avant (Ex : Insectes).

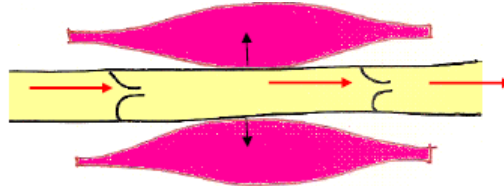


Figure 3 : Représentation schématique de l'étirement diastolique.

2.3. Les vaisseaux

Dans le système circulatoire fermé, les vaisseaux sont caractérisés par une tuyauterie continue (artères → capillaires → veine) alors que dans le système circulatoire ouvert, la tuyauterie est discontinue (artères → hémocœle → veine).

2.3.1. Les artères

Les artères sont des vaisseaux afférents (vers les tissus). Leur système est ramifié : du cœur vers le lit capillaire/hémocœle. L'entrée du système est le gros vaisseau (aorte) et sa sortie est les petits vaisseaux (artérioles → capillaires).

La pression artérielle est forte, elle est décroissante des aortes vers les artérioles terminales. Les grosses artères sont caractérisées d'une capacité élastique leur permettant la résistance aux fortes pressions par propulsion du sang.

2.3.2. Les veines

Les veines sont des vaisseaux efférents (depuis les tissus). Leur système est ramifié : du lit capillaire/hémocœle vers le cœur. L'entrée du système est les petits vaisseaux et sa sortie (cavité cardiaque) : gros vaisseaux.

La pression est faible, décroissante des veinules vers les veines cardinales.

Ces vaisseaux sont caractérisés par une capacité de dilatation leur permettant le stockage du sang, éventuellement des propriétés contractiles qui facilitent le retour veineux.

2.3.3. Les capillaires

Elles constituent un réseau très dense de petits vaisseaux de quelques μm de diamètres et de quelques mm de longueur. L'endothélium et la lame basale sont parfois ouverts (capillaires fenêtrés).

3. Le système circulatoire clos (ou fermé)

Dans un système circulatoire fermé, le liquide circulant, le sang, reste enfermé de manière permanente dans des vaisseaux où il circule en partant d'une pompe, le cœur, et en y revenant. Certains invertébrés, comme les mollusques céphalopodes et les annélides, et tous les vertébrés ont un système circulatoire fermé (**circuit clos**).

Chez les annélides (Ex: les vers de terre), un vaisseau dorsal se contracte de manière rythmique et agit à la manière d'une pompe. Le sang est propulsé à travers cinq petits artères, qui fonctionnent également comme des pompes et qui sont connectés au vaisseau ventral, qui transporte le sang vers l'arrière jusqu'à ce qu'il réintègre le vaisseau dorsal. De plus petits vaisseaux se détachent de chaque artère pour apporter aux tissus du ver de terre l'oxygène et les nutriments et éliminer les déchets.

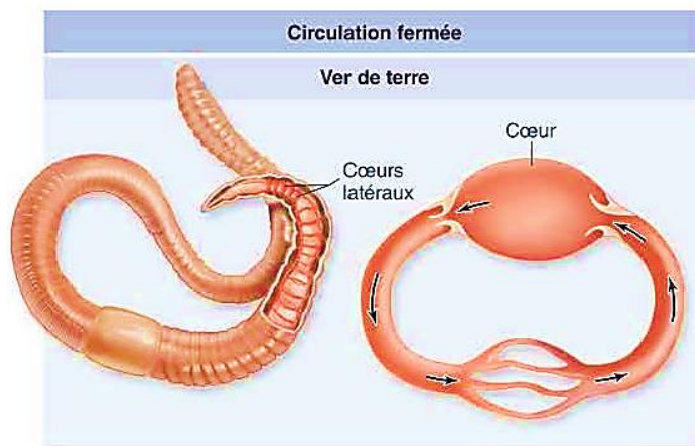


Figure 4 : Système circulatoire fermé chez les annélides (Ver de terre).

4. Le système circulatoire ouvert

Dans un système circulatoire ouvert, comme celui des mollusques non gastéropodes et des arthropodes, il n'y a pas de distinction entre le liquide circulant dans les vaisseaux et le liquide interstitiel (ou lymphe), d'où le nom d'**hémolymphe**. Chez les insectes, le cœur est un tube musculéux qui pompe l'hémolymphe à travers un réseau de canaux et de cavités du corps. Le liquide est ensuite drainé dans la cavité centrale.

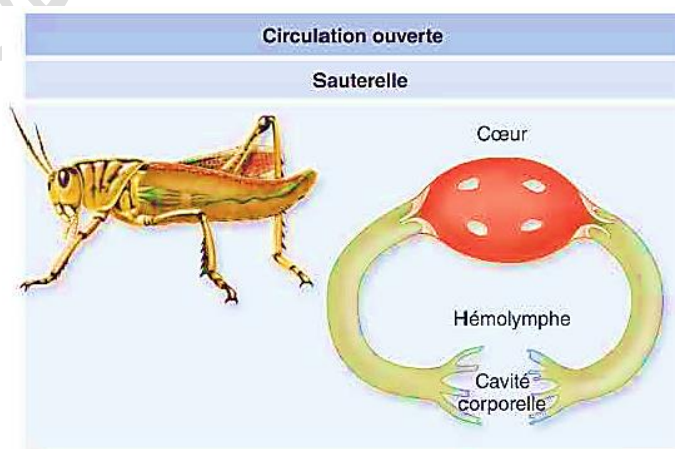


Figure 5 : Système circulatoire ouvert chez les arthropodes (Sauterelle).

5. Les invertébrés sans système circulatoire

Les éponges et la plupart des cnidaires utilisent l'eau de leur environnement comme fluide circulant. Les éponges font circuler l'eau à travers une série de canaux qui parcourent leur corps alors que, chez les hydres et d'autres cnidaires, l'eau passe à travers une cavité gastro-vasculaire.

La circulation chez les invertébrés pseudocœlomates, comme les vers ronds et les rotifères se résume au passage des fluides dans la cavité corporelle. La plupart de ces invertébrés sont petits ou sont longs et minces ; dès lors, des mouvements du corps suffisent à faire circuler de manière adéquate les liquides corporels, qui sont en contact direct avec les tissus et organes internes.

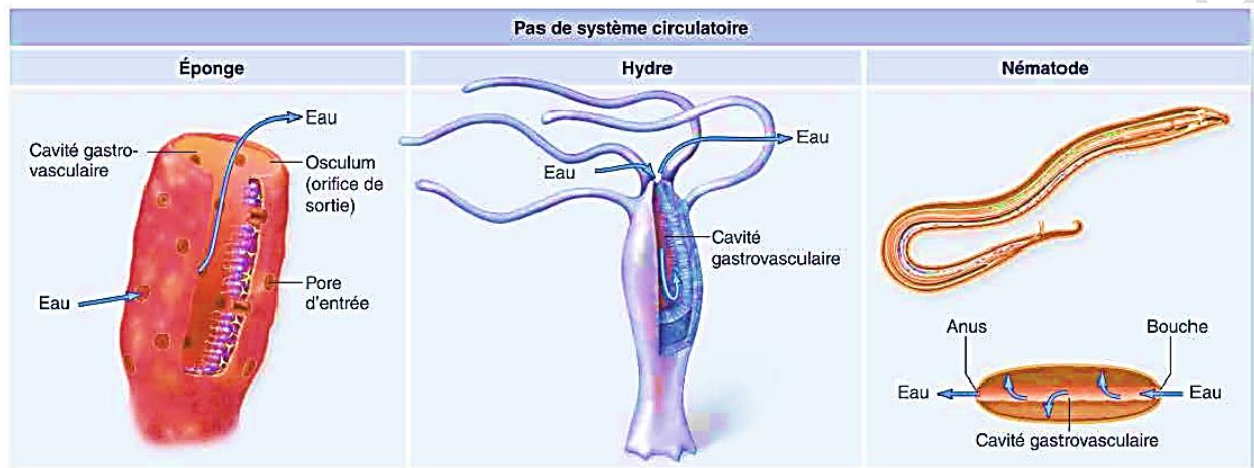


Figure 6 : Animaux sans système circulatoire.

6. Circulation de l'hémolymphe

L'hémolymphe est un liquide circulatoire des insectes et de la plupart des invertébrés. Elle permet les échanges intercellulaires (hormones, déchets métaboliques, nutriments, échanges biochimiques, etc.).

L'hémolymphe circule dans la cavité générale des insectes sous la pression de plusieurs dispositifs anatomiques : vaisseau dorsal, diaphragmes, organes pulsatiles accessoires, muscles intersegmentaires, sacs aériens... pour assurer la nutrition des tissus, l'excrétion, l'homéostasie, le refroidissement et participer à la respiration (toutefois, elle n'a pas de rôle respiratoire. Elle ne porte pas de pigments colorés). Tout ceci, fort compliqué, nécessite en plus de régulations périphériques un contrôle nerveux centralisé qu'on localise dans les ganglions méso- et méta-thoraciques et des capteurs reliés par des nerfs. En plus, des hormones sécrétées par des organes neurohémaux disséminés dans l'hémocœle, pourraient intervenir.

Chapitre 2. La Respiration Chez Les Invertébrés.

1. Généralités

La respiration se manifeste par des échanges de gaz avec l'environnement chez la plupart des êtres vivants (végétaux, animaux, unicellulaires...). Elle se reconnaît par :

- une consommation d'O₂
- une production de CO₂

Ces échanges respiratoires se produisent au niveau d'organes particuliers (surfaces d'échange).

2. Surfaces d'échange

Dans le monde animal, les surfaces d'échange respiratoire sont variées :

2.1. Respiration dans l'air: utilisation de poumons ou de trachées.

a. Les poumons sont une surface d'échange entre air et sang chez tous les animaux vertébrés qui vivent au moins en partie dans l'air (tous sauf les poissons) en possèdent.

b. Les trachées sont une surface d'échange caractérisant les petits invertébrés, en particulier les insectes et les arachnides.

Les trachées sont un système de tubes ramifiés en de nombreux trachéoles communiquant avec l'extérieur par des orifices appelés **stigmates**.

Ces tubes pénètrent dans l'insecte et délivrent directement l'O₂ nécessaire à chaque groupe de cellules : les trachées sont donc une surface d'échange directe **air/cellules**, sans intermédiaire (pas de sang).

2.2. Respiration dans l'eau:

Les branchies, surface d'échange entre l'eau et le sang. Les poissons mais également de nombreux arthropodes et mollusques utilisent des branchies.

Les branchies sont constituées d'un ensemble de fines lamelles, richement irriguées, exposées au contact de l'eau, elles constituent une surface d'échange entre l'eau et le sang.

2.3. Respiration tégumentaire :

Elle se fait à travers le tégument c.-à-d. à travers la peau (cuticule).

3. Mécanisme respiratoire chez les invertébrés

3.1. Cas des annélides

La respiration chez le **lombric** se fait par diffusion au travers de la cuticule perméable. Les glandes de l'épiderme produisent continuellement du mucus qui maintient la surface humide, et permet ainsi à l'oxygène de diffuser vers l'intérieur de l'animal.

La forme relativement massive des annélides nécessite une circulation efficace de l'oxygène et des éléments nutritifs. Chez les lombrics, le système circulatoire fermé est formé de capillaires entourant le tube digestif de vaisseaux sanguins longitudinaux qui parcourent tout le corps, et de cœurs latéraux qui pompent le sang dans le système circulatoire.

Le sang des lombrics contient un pigment respiratoire qui augmente l'efficacité du transport de l'oxygène: **l'hémoglobine**. Ce pigment est en solution dans le sang, et n'est pas contenu dans des cellules spécialisées comme chez les vertèbres.

Les polychètes marins qui vivent dans des terriers ou des tunnels ont plus de difficulté à se procurer de l'oxygène. Ils possèdent souvent des branchies, et la surface des parapodes est fréquemment impliquée dans les échanges respiratoires.

Les mouvements du ver dans son tunnel font circuler l'eau et aident à renouveler l'oxygène.

3.2. Cas des arthropodes

Chez les Arthropodes, des organes spécialisés sont développés pour capter l'oxygène :

- Poumon interne pour les Arachnides.
- Branchies pour les Crustacés.
- Système trachéen pour les Insectes.

3.2.1. Le poumon des Arachnides

Les poumons existent chez les araignées et les scorpions, 1 paire chez la plupart des araignées (2 paires chez les Mygales) et 4 paires chez les Scorpions. Ils sont situés dans la partie médiane antérieure de l'opisthosome (**fig.7**) et coexistent avec des trachées.

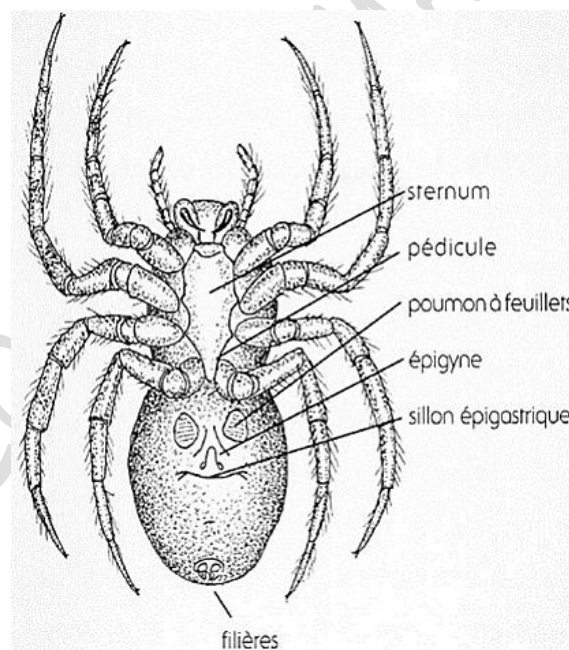


Figure 7 : Poumon d'une araignée.

Les poumons sont des invaginations tégumentaires de forme globuleuse, formant une chambre pulmonaire appelée aussi **atrium** ou **vestibule** et qui s'ouvre vers l'extérieur par l'orifice pulmonaire, équivalents aux stigmates du système trachéen. La paroi antérieure de l'atrium engendre des invaginations secondaires formant une série de lamelles creuses superposées (**fig.8**).

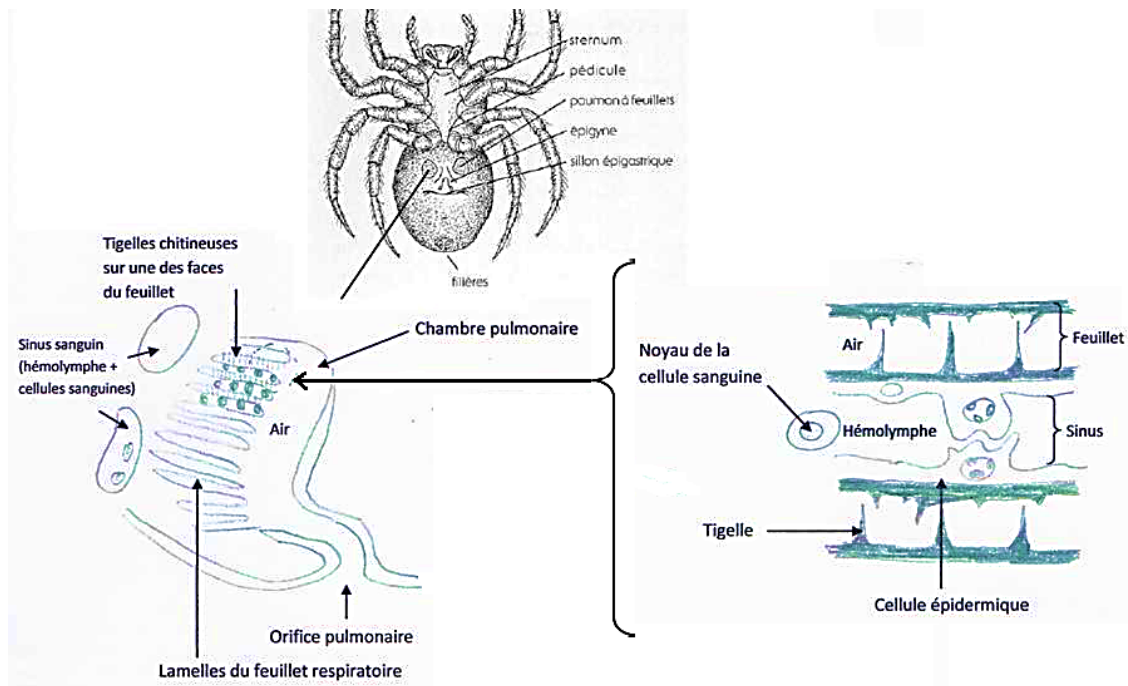


Figure 8 : Anatomie du poumon de l'araignée.

L'air circule constamment mais de façon très lente car il n'y a pas de mouvement de l'air à l'intérieur de la cavité, ceci impose une taille maximale très petite à l'animal.

Entre les lamelles se trouve des petites cellules qui forment des lacunes, où circule l'hémolymphe.

3.2.2. Les insectes

La respiration des insectes est assurée par des trachées qui constituent un système très perfectionné.

Les trachées sont des invaginations tubulaires de l'épiderme qui communiquent avec l'extérieur par un stigmate. Ils se ramifient en de nombreuses trachéoles. Ces ramifications deviennent de plus en plus fines pour atteindre 3 à 5 μm en fin de ramification. Les dernières ramifications arrivent sur de grosses cellules, de forme étoilée : les cellules trachéolaires. Leur extrémité se termine directement dans les organes. La cuticule forme, à certains endroits des épaissements en spirale qu'on appelle **ténidies**, ceci empêche les tubes de se déformer et donc de se fermer.

Dans les trachéoles, il y a un peu de liquide pour permettre la diffusion des gaz (**fig.9**).

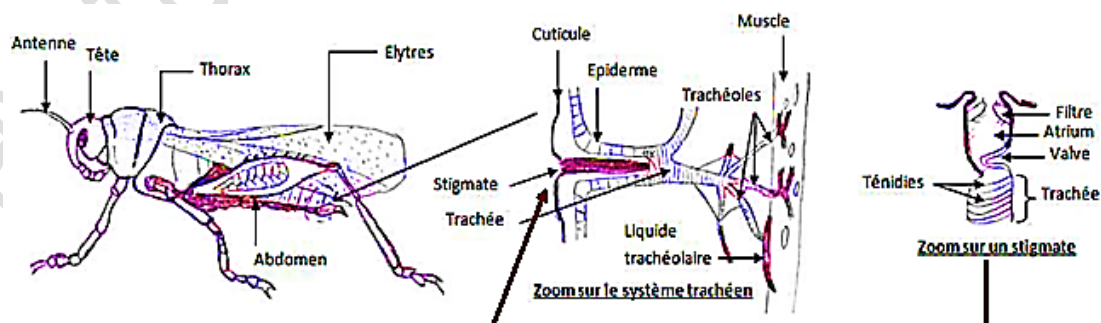


Figure 9 : Les trachées des Insectes.

Chez les Arthropodes les moins évolués, chaque trachée provient d'un métamère. Ces trachées sont assez peu ramifiées et sont indépendantes les unes des autres. Par contre chez les arthropodes les plus évolués, les trachées sont reliées les unes aux autres par des connexions transversales et longitudinales, ceci permet la circulation de l'air dans tout le corps.

3.2.3. Branchies des crustacés

Chez les Crustacés supérieurs, il existe essentiellement deux types de branchies (**fig.10**) :

- **Les trichobranches** : ou branchies filamenteuse en forme de tubes. Elles sont formées par des cellules piliers qui forment des lacunes. L'hémolymphe circule dans chaque filament branchial. Ce type de structure est retrouvé chez les langoustines ou les homards.
- **Les phyllobranches** : Ce sont des branchies aplaties en forme de lamelle. Elles sont entourées par des cellules piliers et entre ces cellules se forment des lacunes. L'hémolymphe passera entre ces lacunes. Ce type de structure est retrouvé chez les crabes.

Les branchies sont protégées par une cavité branchiale délimitée par un prolongement des tergites thoraciques appelé le **branchiostégite**.

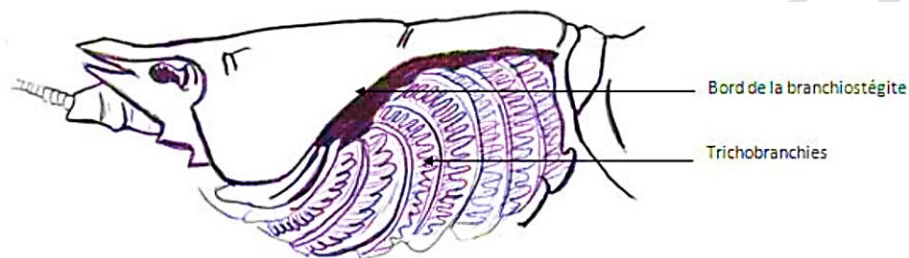


Figure 10 : Mise en évidence des branchies chez les crustacés.

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.

3.3. Cas des mollusques

Le sang contient un pigment respiratoire appelé hémocyanine. Ce pigment ressemble à l'hémoglobine, mais contient du cuivre au lieu du fer, et a une couleur bleue.

Les branchies du Mollusque ancestral sont formées de lames s'attachant de part et d'autre d'un axe central. Elles sont richement vascularisées, innervées et mobiles (muscles). Elles baignent dans la cavité palléale.

La respiration est assurée par une branchie gauche unique qui assure la convection de l'eau comme chez les **Polyplacophores**. Le siphon est un prolongement du compartiment inhalant. Chez les pulmonés la cavité branchiale devient une cavité pulmonaire : la paroi de la cavité devient une surface d'échange avec des plissements et une vascularisation plus importante.

Chapitre 3. La Nutrition Chez Les Invertébrés.

Les animaux sont des organismes hétérotrophes : ils sont totalement tributaires des organismes autotrophes (procaryotes et végétaux chlorophylliens).

La matière organique se trouve sous différentes formes (végétaux, animaux, planctons, particules en suspension dans l'eau ou dans les sédiments...etc.). Ainsi, on note le développement de nombreuses adaptations chez les animaux pour prélever ces différentes formes de la matière organique présentes dans un écosystème donné.

Bien que leurs aliments soient extrêmement variés, on peut regrouper les animaux en différentes catégories en fonction de la nature et/ou de la dimension des particules qu'ils ingèrent. On distingue ainsi les consommateurs d'aliments liquides des consommateurs d'aliment solides et, parmi ces derniers, les microphages des macrophages.

1. Les animaux microphages :

Ce sont des animaux consommant des particules de petite taille (inf. à 50 μm). Les planctophages consomment le phytoplancton (microalgues) et le zooplancton (larves, protozoaires).

Les débris de toutes sortes (animaux et végétaux) qui constituent le seston représentent une biomasse d'une dizaine de fois supérieure à celle du plancton vivant.

1.1. Les suspensivores :

Ils sont aussi appelés filtreurs car ils consomment des particules qui flottent dans le milieu aquatique en filtrant l'eau. Ils utilisent des processus qui nécessitent :

- La formation d'un courant d'eau par :

→ Battements de cils ou de flagelles : ventilation des surfaces respiratoires et déplacement (larves),

→ Mouvement d'appendices chez les crustacés planctoniques (par exemple)

- Filtration des particules de manière à retenir (concentrer) les particules consommables et à rejeter les particules indésirables.

On distingue ainsi plusieurs types de filtration par :

- Paroi et choanocytes chez les spongiaires ;
- Panache tentaculaire chez plusieurs familles d'annélides polychètes sédentaires tubicoles
- Branchies filtrantes chez les mollusques bivalves et les procordés
- Tractus ciliaire (les cils sont disposés en rangée) chez les larves ciliées, les rotifères, les ptéropodes et les thécosomes et les cnidaires scyphozoaires comme les méduses ;
- Appendices chez les crustacées
- Piège muqueux chez le chaetoptère (infra-littoral)

La microphagie a une place prédominante dans le flux de matière au sein des systèmes océaniques et lacustres du fait de la matière organique abondante et du nombre d'espèces micorphagiques.

Les microphages forment le plus grand groupe de consommateurs de la production primaire (80% de la production planctonique et 65% de la matière organique dissoute, détritique ou bactérienne).

Ces invertébrés ont une grande importance dans l'épuration des eaux, dans l'économie comme dans la conchyliculture (bivalves) et dans la concentration de métaux lourds et de micro-algues toxiques pour l'homme.

NB : Pour une moule et pendant un an, le volume de filtration est estimé à 22 tonnes d'eau (pour une concentration en particule environnant 5 ppm), soit 120 kg de particules filtrées en un an.

1.2. Les détritivores : (deposit-feeders)

Ils sont capables de recycler la matière organique provenant de la fragmentation fine de la nourriture d'autres consommateurs de débris animaux et végétaux (espèces nécrophages et microphages) qu'elle soit une matière organique incorporée au sédiment (limivorie) ou une matière organique reposant à la surface ou en suspension.

NB : à la différence de la filtration, il n'y a pas de création d'un courant d'eau.

Ces vertébrés sont capables de valoriser cette matière organique grâce à :

- ➔ la capture par des dispositifs spécialisés comme les annélides polychètes qui présentent des tentacules capables de balayer la surface du sable ou les échinodermes utilisant les pieds ou encore les mollusques (le dentale) par rétraction des captacules et par battements ciliaires.
- ➔ la limivorie (ingestion non sélective par absorption du sédiment) qui concerne les vers fousseurs (annélides comme l'arénicole et le lombric) et plusieurs espèces vermiformes.

2. Les animaux se nourrissant de liquide :

L'alimentation à partir de liquide requiert le plus souvent des structures particulières permettant le percement ou l'incision et impliquera des mécanismes assurant la succion et/ou le léchage. Les invertébrés adoptent principalement les modes suivantes :

- percement et succion ;
- incision et léchage ;
- butinage ;
- et d'autres formes.

2.1. Percement et succion :

On rencontre ce mode :

- Chez les insectes qui se nourrissent de sève comme le puceron, la cochenille et la cigale. Ces derniers présentent un appareil buccal appelé le rostre dont le mouvement assure le percement pour assurer la succion par les stylets maxillaires ;
- chez les nématodes phyto-parasites qui éjectent leurs stylets pour percer l'épiderme des racines ou les stomates des feuilles puis pompent les fluides par le pharynx.
- et chez les animaux hémaphysaires. Il s'agit des sangsues (annélides hirudinées) et de certains arthropodes à l'exemple de la tique (acaridés) et de la mouche femelle (insectes).

2.2. Incision et léchage :

C'est le cas de certaines mouches (insectes) : les mandibules sont tranchantes pour l'incision et le labium est spongieux pour le léchage.

2.3. Butinage :

Le butinage concerne les lépidoptères (Papillons) ayant un appareil buccal de type lécheur-sueur ainsi que les hyménoptères (Abeilles) dont l'appareil buccal est de type lécheur-labial. Leurs appareils buccaux sont adaptés pour le léchage et le pompage du nectar.

2.4. Autres formes :

- Le cas des chélicérates : les tissus de la proie sont liquéfiés puis aspirés.
- Les trématodes (douves) : l'orifice buccal s'ouvre au centre d'une ventouse pour aspirer par le pharynx musculueux.
- Mécanisme d'osmotrophie : absorption cutanée de substances dissoutes à l'exemple du tænia (cestodes) qui parasite de l'intestin-grêle de vertébrés et la sacculine du crabe (crustacés) qui effectue un prélèvement métabolique important de l'hôte.

3. Les animaux macrophages :

Il s'agit des animaux dont la nourriture constitue une masse importante comparée à leur masse propre. On retrouve des herbivores (phytophage), des carnivores et des omnivores.

3.1. Les brouteurs :

Ce sont généralement des herbivores (ou phytophages). Il existe cependant des brouteurs carnivores qui se nourrissent d'animaux fixés comme les spongiaires.

3.1.1. Cas des mollusques :

Ils utilisent une radula pour râper et triturer les plantes vasculaires ou les algues dont ils se nourrissent. La radula est un ruban associé à des dents kératinisées. Exemples : gastéropodes terrestres (escargot, limace) ou d'eau douce (limnées, planorbes, etc.) ou de mer (limace de mer).

3.1.2. Cas des arthropodes :

Les crustacés consomment souvent des débris végétaux (détritivores). Aussi, les insectes présentent des espèces herbivores (sauterelles, criquets) et d'autres xylophages (termites).

3.2. Les prédateurs :

Ce sont des animaux zoophages. Leurs proies sont mobiles, il y a nécessité de stratégies de capture (poursuite, pièges) et d'outils de capture.

3.2.1. La poursuite :

Les prédateurs adoptant une stratégie de capture par poursuite requièrent :

- Des organes de sens très développés pour la vision, l'odorat (signaux chimiques), l'audition, la pression ;
- Un système de locomotion efficace :
 - La chasse à la course, nage, vol,
 - La chasse à l'affût (accélération) ;
- Des organes préhenseurs spéciaux :
 - Des « bras pêcheurs » des céphalopodes comme la seiche, munis de ventouses,
 - Des pinces des crustacés (péréispodes antérieurs),
 - Des griffes (mammifères et oiseaux)... etc. ;
- Des organes de mastication–dilacération (chez les vertébrés) ;
- Des glandes à venin (chez certaines espèces) viennent s'ajouter à cet arsenal :
 - Aiguillon des hyménoptères ((guêpes, abeilles),
 - Aiguillon (dard) des scorpions,

- Glandes venimeuses des pédipalpes des pseudoscorpions,
- Appareil venimeux associé aux chélicères chez les araignées,
- Organes venimeux des cônes (gastéropodes),
- Glande salivaire des céphalopodes.

La production de substances toxiques sert à paralyser et tuer les proies. Elle constitue également un moyen efficace de défense et de protection contre d'éventuels prédateurs.

3.2.2. Le piège :

Cela concerne surtout les espèces prédatrices peu mobiles, sédentaires ou fixées. Elles développent différentes stratégies :

- Le mimétisme chez les chasseurs à l'affût,
- Les organes pièges et pièges construits.

3.2.2.1. Cas des cnidaires :

Ils possèdent une couronne de tentacules autour de la bouche (polypes), à la périphérie de l'ombrelle (méduses). Les tentacules sont armés de cellules cnidoblastes prolongés d'un cnidocil très sensible et possédant une vacuole (cnidocystes). Les cnidaires procèdent à la paralysie de la proie puis à la rétraction et enroulement des tentacules déclenchés par des molécules libérées par les proies.

3.2.2.2. Cas des araignées :

Quelques familles des araignées élaborent des pièges construits de fils rayonnants de soie gluante (la toile des araignées). L'araignée reste en relation avec la toile par un fil avertisseur. Ainsi, la proie empêtrée est ligotée, paralysée puis digérée.

4. Autres formes de nutrition (Association symbiotique) :

- Association symbiotique de cyanobactéries avec des éponges.
- Association symbiotique de chlorophycées (zoochlorelles) ou dinophycées (zooanthelles) avec des ciliés, des éponges, des cnidaires, des polychètes et mollusques :
 - Les algues fournissent des métabolites à l'animal essentiellement sous forme d'oses (glucose, maltose), de glycérol et d'acides aminés (photosynthèse)
 - Les animaux apportent du CO₂ et du NH₃ qui proviennent du catabolisme.
- Association symbiotique de bactéries avec des riftia (= vers herbicoles sans bouche, ni appareil digestif) :
 - Les bactéries sont hébergées au niveau d'un organe volumineux de l'animal : le trophosome qui occupe la majeure partie du coelome.
 - Les bactéries symbiotiques oxydent le SH₂ (avec du H₂O et de l'O₂) pour former de l'ATP.
 - Par réduction du CO₂, les bactéries du trophosome synthétisent les composés organiques qui sont transférées vers l'animal.

Chapitre 4 : L'Excrétion Chez Les Invertébrés

1. Introduction

L'excrétion correspond à l'ensemble des processus conduisant à l'évacuation à l'extérieur de l'organisme des déchets issus du fonctionnement des cellules. A l'exception du gaz carbonique, rejeté par la respiration, et des déchets de la digestion qui constituent les excréments.

Les déchets issus du fonctionnement des cellules sont transportés par le sang ou l'hémolymphe et éliminés par des organes spécialisés, comme les reins chez les vertébrés et les mollusques, les néphridies chez les vers ou les tubes de Malpighi chez les insectes.

Les organes excréteurs participent au maintien de concentrations ioniques et de la teneur en eau : homéostasie.

2. Système excréteur chez les annélides

Il est constitué de :

- Une paire de néphridies par métamère.
- Néphrostome cilié : capte le liquide coelomique et des cellules chloragogènes bourrées de détrit.
- Tube néphridien : en relation avec des capillaires sanguins, assure les rejets complémentaires et la réabsorption.
- Vessie : stockage temporaire.
- Néphridiopore : évacuation.

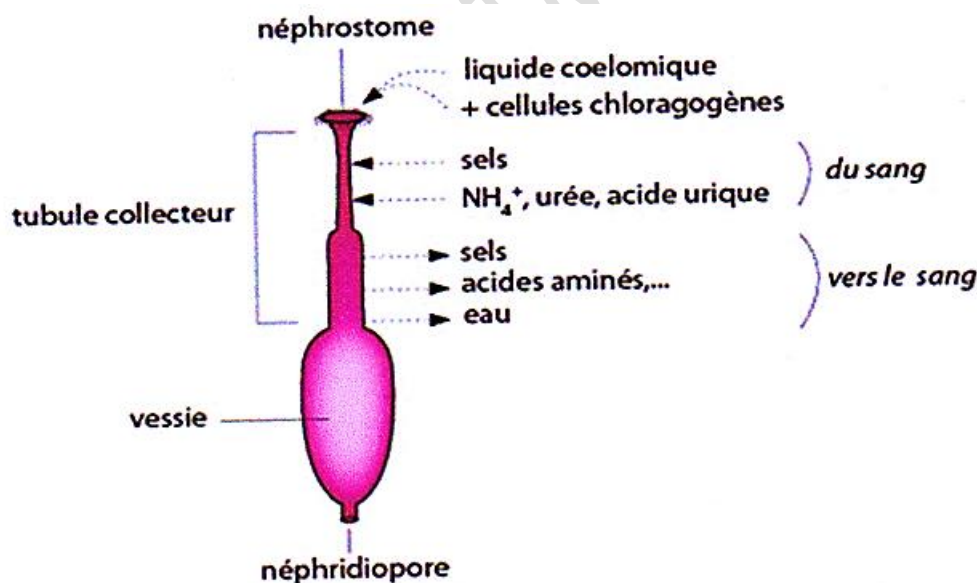


Figure 11 : Système excréteur chez les annélides.

3. Système excréteur chez les insectes

Les tubules de Malpighi s'étendent dans toute la cavité abdominale et sont baignés par l'hémolymphe. Une fibre musculaire simple est enroulée autour de chaque tubule, lui permettant de se déplacer de l'intérieur de la cavité. Ces tubes fins qui s'étendent par tout le corps sont impliqués dans le processus d'excrétion et leur position suspendue dans l'hémolymphe leur permet de filtrer et de purifier l'hémolymphe qui les entoure.

Le filtrat est rejeté dans le colon et lorsqu'il atteint le rectum, l'eau et les sels essentiels sont réabsorbés, laissant derrière les déchets azotés qui sont rejetés avec les fèces par l'anus.

Pour cette raison le système excréteur chez les insectes est aussi appelé le complexe : proctodeum-tubules de Malpighi.

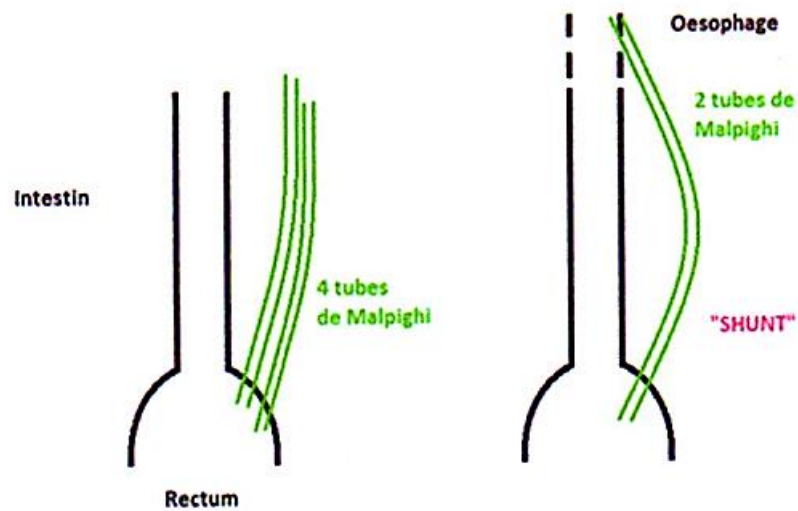


Figure 12 : Système excréteur chez les insectes.

4. L'appareil excréteur des crustacés

L'appareil excréteur est représenté par deux reins situés à droite et à gauche de l'estomac et habituellement appelés les glandes vertes à cause de leur couleur.

Chaque rein est accompagné d'une petite vessie à très minces parois dont le contenu est emmené par un petit conduit s'ouvrant au dehors, à la base de l'antenne, le liquide est un déchet de nature azotée voisin de l'acide urique, mais un peu moins oxydé, qui s'appelle la guanine.

Chapitre 5 : Le Système Nerveux Chez Les Invertébrés

Tous les animaux, sauf les éponges, utilisent un réseau de cellules nerveuses pour rassembler les informations sur le corps ainsi que sur l'environnement extérieur, afin de traiter et d'intégrer des messages et d'envoyer des ordres. Au fur et à mesure de l'évolution des espèces, le système nerveux permet de mettre en place des mécanismes adaptatifs de plus en plus sophistiqués.

1. Cas des spongiaires

Bien que ne possédant pas de mobilité, les éponges disposent d'un système nerveux rudimentaire qui leur permet de se contracter sur elles-mêmes et/ou d'ouvrir ou de fermer leurs pores d'entrée.

2. Cas des cnidaires

Les Cnidaires possèdent un système nerveux primitif constitué de neurones bipolaires et tripolaires isolées. Le système nerveux ne forme pas des centres spécialisés, sauf chez quelques-uns. Il forme des réseaux à la face interne des couches superficielles et à la face externe de la couche profonde et qui mettent en relation les cellules sensorielles, épithélio-musculaires et cnidoblastes. Néanmoins, il n'existe pas ici de système nerveux central. On parle de neuroépithélium.

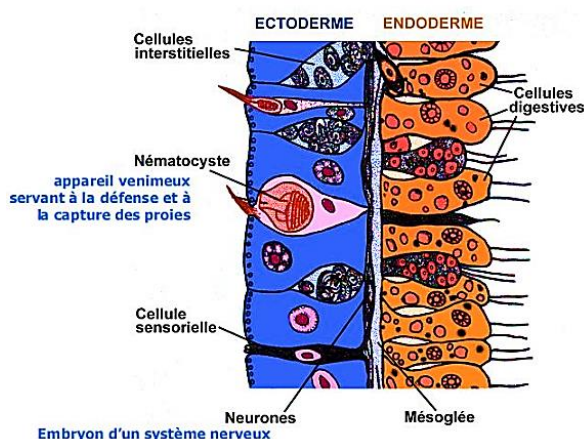


Figure 13. Coupe transversale de la paroi corporelle des cnidaires.

3. Cas des annélides

Le système nerveux est constitué ventralement d'une double chaîne de ganglions nerveux, reliés longitudinalement entre eux par les connectifs et transversalement par des commissures, cette double chaîne nerveuse ventrale est reliée par le collier périœsophagien aux ganglions cérébroïdes. Le système nerveux des annélides est bien développé avec une concentration de ganglions à l'extrémité antérieure (Céphalisation) et une corde nerveuse ventrale ramifiée.

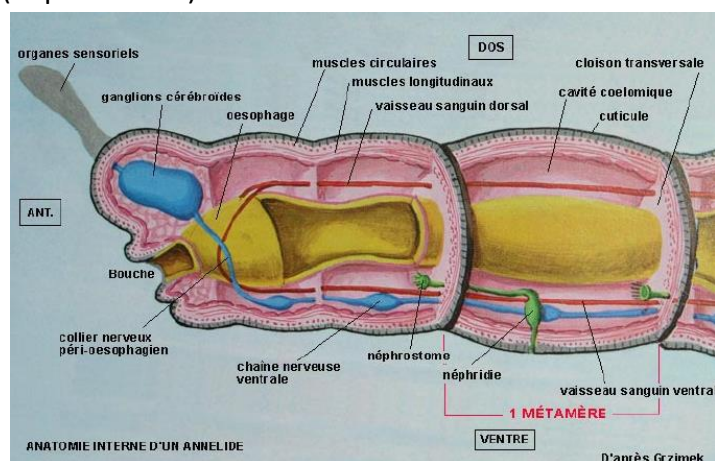


Figure 14 : anatomie interne d'un annélide.

4. Cas des arthropodes

Le cerveau des Arthropodes résulte de la fusion du protocérébron, du deutocérébron et tritocérébron. Le protocérébron est relié aux organes visuels (yeux composés, ocelles), il contient donc de gros ganglions optiques.

Le Deutocérébron est relié aux antennules et aux antennes avec des ganglions antennaires ou antennulaires. Ces centres olfactifs sont réunis par une commissure au-dessus de l'œsophage.

Le tritocérébron est encore sous l'œsophage, sa céphalisation est incomplète. Il innerve les antennes, les chélicères ou le labre selon la classe d'Arthropodes.

L'organisation de ce cerveau est très proche de celui des annélides, sauf dans le cas du tritocérébron. La chaîne nerveuse est ventrale. Elle comporte une paire de ganglions par métamère, associés entre eux par une commissure transversale et avec la paire antérieure et postérieure par des connections longitudinales. Chaque ganglion est à l'origine de 3 paires de nerfs.

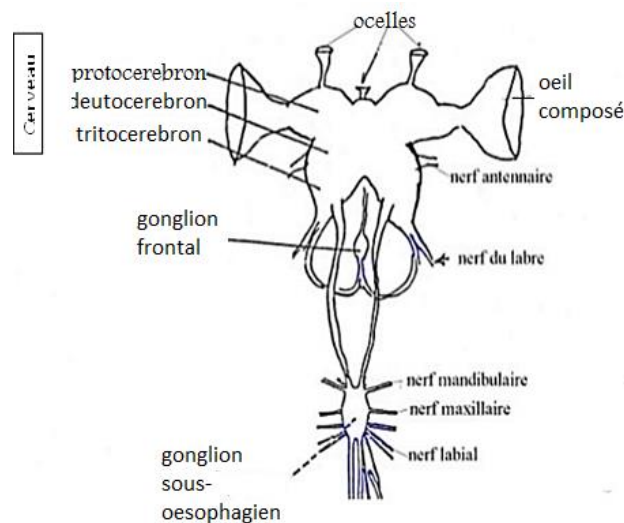


Figure 15 : Organisation du système nerveux des Arthropodes (Insecte).

5. Cas des mollusques

Le système nerveux est particulièrement typique. Il comprend 3 paires de ganglions qui sont reliés entre eux par des connectifs pour former un triangle de chaque côté de l'œsophage :

- Une paire de ganglions cérébroïdes au-dessus de l'œsophage (réunis par une courte commissure et qui émettent des nerfs sensoriels) ;
- Une paire de ganglions pédieux sous l'œsophage (réunis également par une commissure et qui innervent le pied) ;
- Une paire de ganglions pleuraux ou palléaux, plus latéraux, qui donnent des nerfs allant aux côtés du corps et au manteau. Des ganglions palléaux partent 2 longs connectifs qui se réunissent au niveau de l'anus : c'est la chaîne nerveuse ventrale. Elle porte un nombre variable de ganglions viscéraux.

Les mollusques possèdent des organes sensoriels très variés, beaucoup d'espèces possèdent des yeux. Les activités comportementales que peuvent développer ces espèces sont tout aussi variées. Les Céphalopodes sont, par exemple, capables d'apprentissage par imitation, c'est-à-dire de reproduire ce qu'ils ont pu voir faire par un congénère.

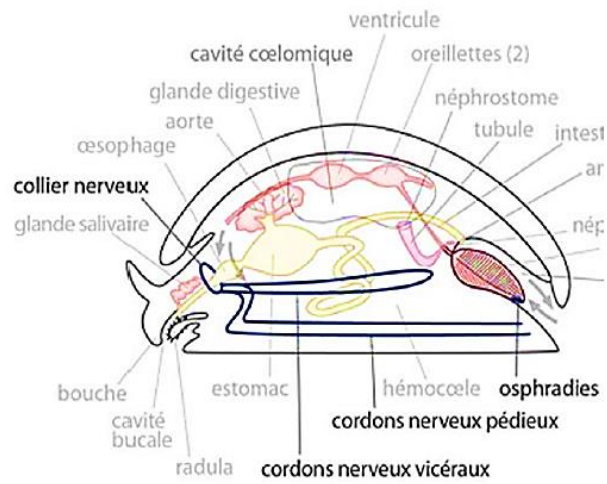


Figure 16 : Anatomie interne d'un mollusque.

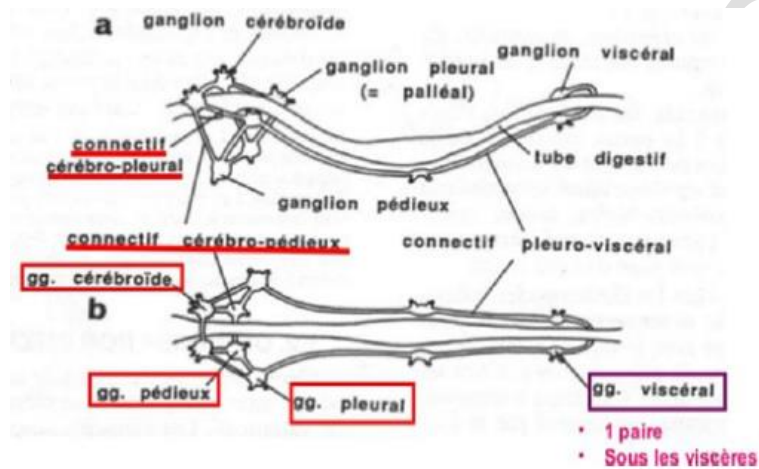


Figure 17 : Organisation du système nerveux d'un mollusque (a : vue transversale ; b : vue dorsale).