

Popular Democratic Republic of Algeria  
Ministry Of High Education And Scientific Research  
Abbes Laghrour University, Khenchela  
Faculty of Nature and Life Science  
Departement of BMC



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة عباس لغرور خنشلة  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم ب.ج.خ.

## Polycopié pédagogique

# PHYSIOLOGIE DES GRANDES FONCTIONS DES INVERTÉBRÉS

Destiné aux étudiants de 3<sup>ème</sup> Année LMD  
Spécialité Biologie et Physiologie Animale

Docteur Noudjoud MAGHNI

Maître de conférences (B)

Année universitaire : 2020/2021

## 1- Introduction

Ce polycopié de physiologie des grandes fonctions des invertébrés aborde, les fonctions physiologiques de l'ensemble des groupes animaux invertébrés. Il apporte au lecteur la position des principaux groupes étudiés.

Les grandes fonctions sont abordées, dans chaque cas, en restituant les organismes animaux par rapport aux contraintes physicochimiques du milieu. Ensuite, les fonctions de nutrition sont envisagées: circulation, respiration, alimentation et excrétion.

La seconde partie, quant à elle, est consacrée en premier lieu aux fonctions de reproduction et de développement, puis au système nerveux qui a pour fonction de produire et traiter des signaux nerveux assurant ainsi une communication entre récepteurs sensoriels et effecteurs, et, en dernier lieu, aux fonctions de relations entre l'organisme et le milieu et au maintien de l'intégrité de l'organisme.

Cet ouvrage s'adresse particulièrement aux étudiants de licence de biologie et physiologie animale et aux étudiants préparant le Master.

Néanmoins, les notions sont toujours abordées de façon progressive, de manière à rendre cet ouvrage accessible aux étudiants de Licence.

## 2- Appareil Circulatoire Et Circulation De L'hémolymphe Des Invertébrés

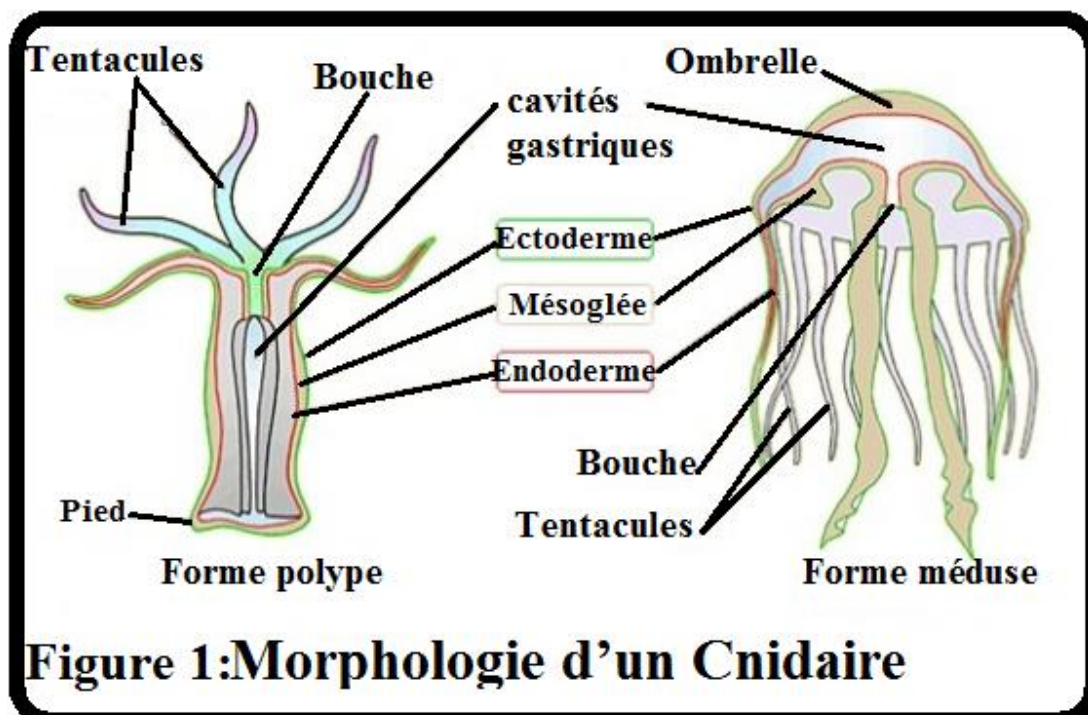
Chez les animaux pluricellulaires, un système circulatoire est nécessaire pour transporter les molécules (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, nutriments et déchets métaboliques) car la plupart des cellules sont éloignées des régions spécialisées pour effectuer des échanges avec le milieu externe.

La majorité des invertébrés présentent un appareil circulatoire ouvert. Les protozoaires, les métazoaires diploblastiques et les métazoaires triploblastiques Acoelomates, ainsi que les échinodermes sont dépourvus d'un appareil circulatoire différencié. Chez ces animaux le fluide cœlomique circule soit:

- par mouvement de cils ou
- par modification de la pression interne au niveau des différentes parties due au mouvement du corps.

### 2-1 Les cavités gastrovasculaires

Les invertébrés primitifs (Cnidaires et plathelminthes) possèdent un système circulatoire primitif qui s'appelle la cavité gastrovasculaire. La répartition des nutriments est lente car elle repose beaucoup sur la diffusion (simple ou facilitée) et le transport actif. Les cavités sont utilisées pour la digestion et pour la distribution des substances dans le corps. Chez les méduses par exemple, la cavité est ramifiée en canaux radiaires qui se joignent à la cavité marginale circulaire. Ces cellules ciliées font circuler la matière. Ces ramifications font que la diffusion n'a pas à se faire sur de longues distances.



Les autres invertébrés possèdent soit un système circulatoire ouvert soit un système circulatoire clos, qui ont tous 3 éléments:

- 1- un liquide (le sang ou l'hémolymphe)
- 2- un ensemble de conduits (les vaisseaux)
- 3- une pompe musculaire (cœur)

Le cœur fait circuler le sang en utilisant l'énergie métabolique pour élever sa pression hydrostatique (la force qui déplace un fluide dans un conduit). La pression artérielle (pression à laquelle le sang circule dans les vaisseaux) est la force hydrostatique que le sang exerce contre l'aire représentée par la paroi d'un vaisseau.

## 2-2- Un système circulatoire fermé

Seul les Annélides et les mollusques Cephalopodes ont un système circulatoire clos, ce système nécessite normalement une pompe = cœur.

- Il peut y avoir un seul cœur ou plusieurs cœurs séparés comme chez le vers de terre. Ex. ver de terre = 5 cœurs: Les cœurs pompent le sang du vaisseau dorsal vers le vaisseau ventral.
- Système circulatoire clos: le sang passe dans un système de vaisseaux partout dans le corps.

Avantage – une pression artérielle plus élevée rendent ce système clos plus efficace pour le transport de liquides circulatoires et mieux satisfaire les besoins métaboliques des cellules de l'animal plus gros et plus actif.

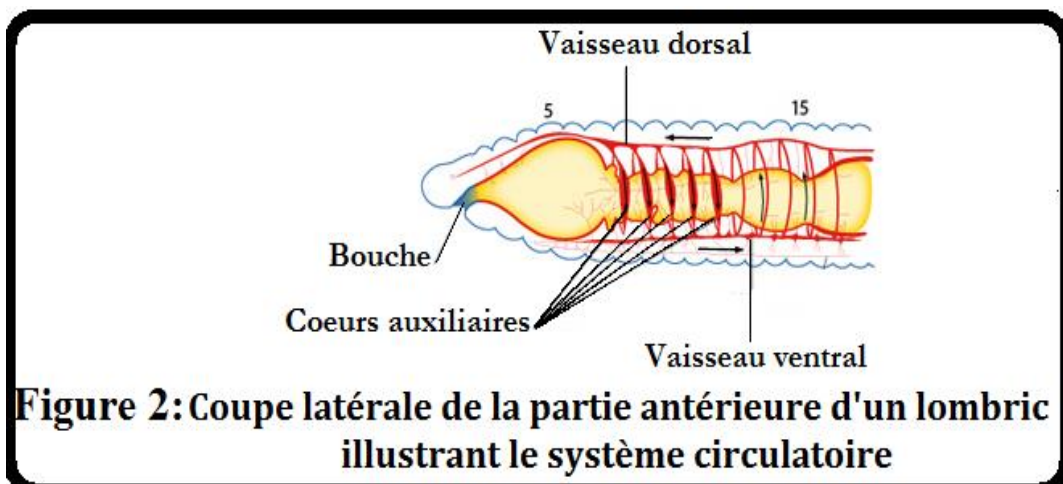
Dans le système circulatoire clos, le sang se déplace dans un circuit ininterrompu de vaisseaux, il passe des artères aux veines par l'intermédiaire de capillaires.

Le sang ne tombe donc pas dans un système de lacunes (vacuole) et ceci implique que le sang reste enfermé dans les vaisseaux et se trouve donc complètement séparé du liquide interstitiel. Ainsi le volume sanguin de l'appareil circulatoire fermé représente donc en moyenne de 05 à 10 % du volume du corps.

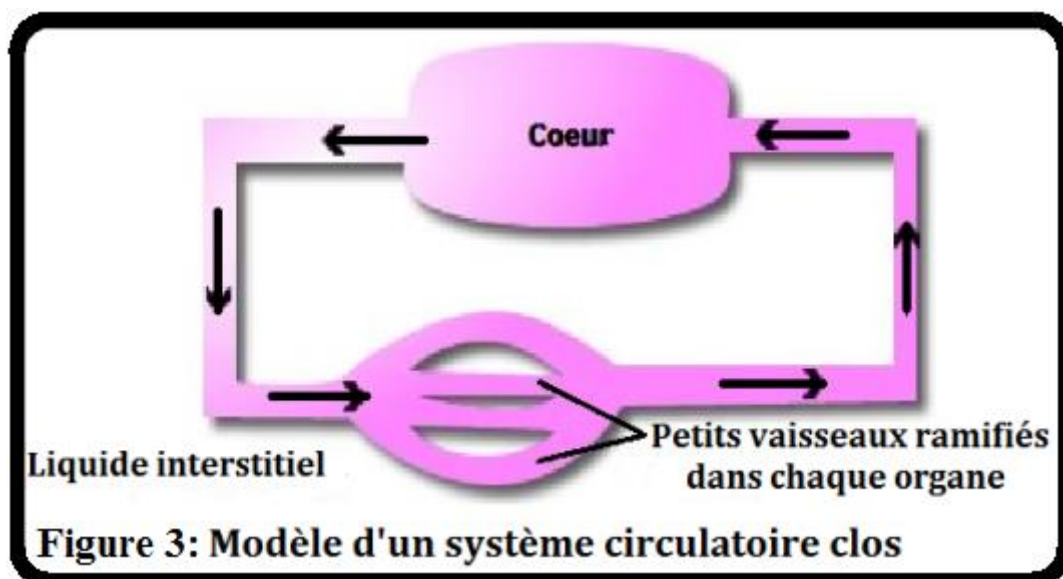
Chez les Annélides le sang demeure constamment dans les vaisseaux et y circule grâce à l'action du cœur, le sang est de couleur rouge car il contient un pigment respiratoire qu'on appelle l'hémoglobine. Le système circulatoire est composé d'un vaisseau dorsal et d'un vaisseau ventral reliés par des vaisseaux latéraux. De nombreux capillaires alimentent les différents organes. Ex : Chez l'Oligochète, *Lombricus terrestris*: Le système circulatoire comprend un gros vaisseau dorsal contractile où le sang est

propulsé vers l'avant. Cinq à sept paires de cœurs latéraux reprennent le sang et l'envoient vers l'arrière dans un vaisseau ventral.

Le système circulatoire des lombrics est composé de cinq paires de cœurs formant des arches autour de son œsophage, un vaisseau contractile acheminant le sang de la queue vers la tête et d'une série de quatre vaisseaux ventraux courant au pluriel de la tête vers la région postérieure. Leur sang ne contient pas de globules rouges, mais de l'érythrocrurine, pigment voisin de l'hémoglobine et qui se trouve directement dissoute dans le plasma. Pour survivre à nos hivers ou à un taux d'humidité trop bas, les lombrics vont descendre dans le sol sous la limite du gel. Par la suite ils se regrouperont ensemble, formeront une boule compacte, sécréteront une couche de mucus qui leur permettra de passer l'hiver en état de léthargie.



**Figure 2: Coupe latérale de la partie antérieure d'un lombric illustrant le système circulatoire**



**Figure 3: Modèle d'un système circulatoire clos**

## 2-2- Système circulatoire ouvert

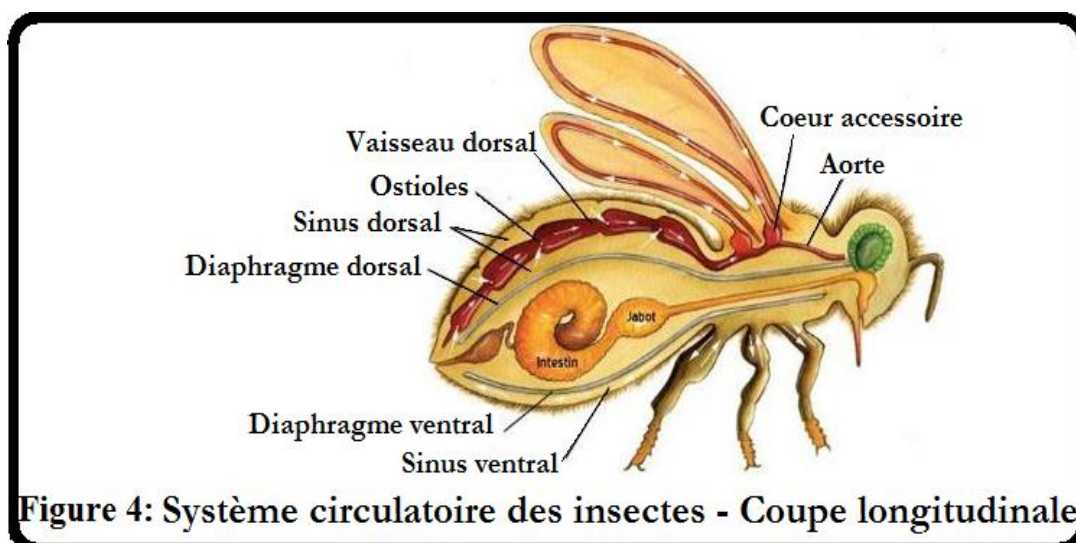
Les vaisseaux sont absents et le sang coule dans des espaces vides qu'on appelle les sinus. Ex. mollusques, tous les arthropodes (insectes, araignées, crabes). Les organes baignent directement dans le sang qui est mélangé à la lymphe (un liquide incolore que l'on nomme l'hémolymphe). Un ou plusieurs cœurs pompent l'hémolymphe dans les sinus où les échanges chimiques se font avec les cellules.

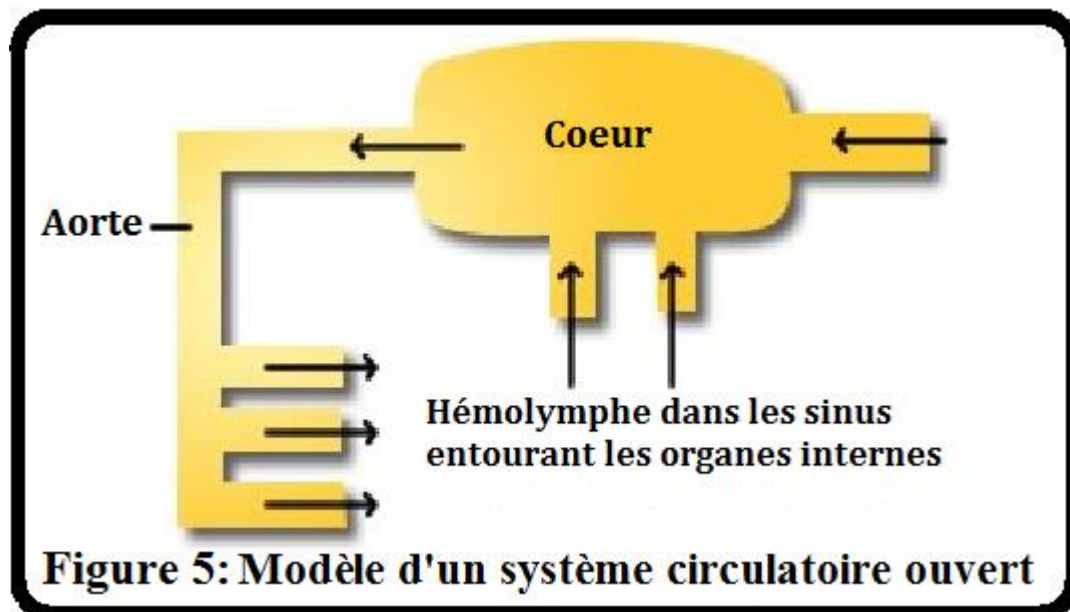
### 2-2-1- Le système circulatoire des Insectes

- Un seul vaisseau sanguin dorsal avec des petits vaisseaux latéraux.
- Le cœur pompe le sang vers la tête, où le sang est ensuite libéré et baigne les organes. Le pompage du cœur crée un mouvement de sang vers le postérieur, où le sang va entrer dans le cœur par les ostioles.

• Les mouvements du corps qui compriment les sinus facilitent aussi la circulation.

Le sang des insectes (généralement appelé hémolymphe) ne possède pas de pigments respiratoires ou d'hémoglobine. La respiration est réalisée par le système trachéal. Le sang, chez les insectes, distribue métabolites, hormones, eau et déchets aux organes appropriés. Le système circulatoire est extrêmement simple, l'hémolymphe étant pompé vers l'avant au travers d'un élément simple, le vaisseau dorsal. Ce vaisseau est essentiellement constitué d'une aorte suivie de bulbes thoraciques. La simplicité du vaisseau dorsal est trompeuse, car c'est bien lui qui assure la circulation de l'hémolymphe ... c'est le cœur des insectes. Chaque chambre le long du vaisseau commence et se termine par une valve (ostiole) au travers de laquelle le sang est pompé. La valve est structurée de manière à ce qu'elle se ferme par pincement automatiquement à chaque contraction, assurant le mouvement de l'hémolymphe de l'arrière vers la tête.





Sur le parcours, le sang sort vers les ailes, les bulbes dorsaux et dans le sinus frontal (espace situé entre les organes sans délimitation). Il circule alors librement, baignant les muscles et les organes. Afin de mieux distribuer le sang par endroits, des cœurs auxiliaires se trouvent dans le thorax, au niveau des ailes et des pattes.

Dans les ailes, ils aident, après la métamorphose, à déployer les nouvelles ailes, encore fripées, avant que la cuticule ne durcisse.

Tous les mouvements des insectes aident également à la circulation de l'hémolymphe à l'intérieur du corps. De la même manière, la respiration, aidée par des contractions musculaires affectant le volume total de l'animal, aide à garantir cette circulation.

Chez les Crustacés (Arthropodes non-tracheates), le système circulatoire est ouvert, il ne sert qu'à transporter l'hémolymphe (contient  $O_2$  et nutriments). L'hémolymphe est propulsée par le vaisseau dorsal (cœur tubulaire) de l'arrière vers l'avant où il s'ouvre dans la cavité générale (ou hémocoèle), de là, il va alimenter les différents organes.

### 1/ Organisation de l'appareil circulatoire

Le système circulatoire des insectes est très proche de celui des autres Arthropodes. Le sang ou l'hémolymphe occupe une cavité unique appelée l'hémocoèle où baignent les différents organes.

- **Diaphragmes musculo-conjonctifs** : Divisent la cavité corporelle en 3 principaux sinus; dorsalement le sinus péricardiaque contenant le cœur, ventralement le sinus péri-neural et entre les 2; le sinus péri-viscéral entourant le tube digestif.

- **Le cœur:** est divisé en nombre variable de chambres cardiaques (ou ventricules : 7 à 11) à disposition segmentaire ces ventricules communiquent entre eux par un système de valvules qui s'opposent au reflux du sang lors de la systole, ils communiquent également avec la cavité péricardique par des paires d'ostioles.  
Le cœur est suspendu aux parois dorsales (tergites) et ventrales « diaphragme dorsal » par des fibres musculaires et des ligaments.  
La contraction des muscles aliformes a pour effet le volume de sinus péricardique qui se remplit de sang et permet au cœur de l'aspirer pendant la diastole, le relâchement des muscles aliformes est accompagné d'une contraction des parois du cœur ce qui propulse le sang vers l'avant, il irrigue les appendices puis passe dans le sinus périsécéral d'où par aspiration, il gagne le sinus péricardique.
- **Les ailes :** sont également irrigués grâce aux lacunes qui longent les nervures longitudinales.
- **Les cœurs pulsatiles accessoires :** ils permettent le passage du sang dans les longs circuits et les étroits comme les pattes, les antennes et les ailes. Les organes contractiles jouent le rôle des cœurs accessoires et favorisent l'irrigation.

## 2/ Mécanisme de la circulation de l'hémolymphe

La circulation comporte 2 phases :

**A- La diastole :** est un appel du sang d'hémocoèle vers le cœur.

**B- La systole :** est un refoulement du sang du cœur vers la cavité corporelle.

- La diastole : pendant cette étape il se développe une pression négative, ainsi le sang est aspiré par le cœur et pénètre par les ostioles, cette force négative est due à :
  - Les parois musculaires élastiques du cœur lui-même
  - Contractions des muscles aliformes de l'invertébré.

A ce moment les valvules inter-ventriculaires sont fermées.

- La systole : pendant la systole, il se développe une pression positive dans le cœur, et le sang est projeté par l'avant, il est propulsé par des ondes naissant à la partie postérieure et progressant vers l'avant et les ostioles sont fermés contrairement aux valvules inter-ventriculaires.
- C- Le cycle :** le sang est aspiré par le cœur à travers les ostioles latéraux pendant la diastole car la pression cardiaque est alors moindre que celle de l'hémocoèle. Le sang est ensuite propulsé vers l'avant par les ondes de contraction et ressort à l'extrémité antérieure de l'aorte. Une partie du sang est ensuite pompée par les organes pulsatiles vers **les antennes**, le reste s'écoule vers l'arrière de l'animal.

La circulation du sang dans **les ailes** est bien définie : le sang entre par les nervures antérieures et sort par les nervures postérieures, des organes pulsatiles situés à la base des ailes aspirant l'hémolymphe.

De même la circulation dans **les pattes** peut être facilitée par des organes pulsatiles, elle est également aidée par les mouvements des pattes.

### 3- Respiration Chez Les Invertébrés

Tous les animaux doivent échanger de l'oxygène et du dioxyde de carbone avec l'environnement. Tous les systèmes respiratoires partagent 2 caractéristiques de base :

- Les organes respiratoires ont de larges surfaces qui sont en contact avec l'air ou l'eau.
- Les surfaces respiratoires doivent être humides pour que la diffusion survienne.

Chez les animaux de très petite taille (diamètre inférieur à 0,5 mm), seule la diffusion suffit pour le transfert des gaz; en effet, la distance de diffusion est faible et le rapport surface sur volume est élevé (une grande surface d'échange pour la diffusion de l'air).

Toute augmentation de taille entraîne une augmentation de la vitesse de diffusion et une diminution du rapport surface sur volume. Chez certains animaux, toute la surface du corps participe aux transferts des gaz.

Chez un animal de grande taille et actif, la diffusion ne suffit plus et il existe une surface respiratoire spécialisée ou épithélium respiratoire constitué d'une fine couche de cellules dont l'épaisseur est comprise entre 0,5  $\mu\text{m}$  et 1,5  $\mu\text{m}$ .

Les composantes du système de transfert des gaz utilisé par beaucoup d'animaux comportent 04 étapes fondamentales :

- 01- Mouvements respiratoires assurant une alimentation continue en air ou en eau vers la surface respiratoire (par exemple les poumons ou les branchies).
- 02- Diffusion de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub> à travers l'épithélium respiratoire.
- 03- Transport en masse des gaz par le sang.
- 04- Diffusion de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub> entre le sang et les mitochondries des cellules dans les tissus.

Les échanges peuvent se réaliser directement par diffusion au travers des parois cellulaires (Spongiaires, Cnidaires). Lorsque les organismes ont une certaine épaisseur, la simple diffusion n'est plus possible et un système circulatoire avec un pigment respiratoire fixant l'O<sub>2</sub> est mis en place. Le sang peut se ré-oxygéner au niveau du tégument (chez les annélides) mais il existe aussi des organes à surfaces d'échanges spécialisées :

- Les branchies, qui sont des surfaces d'échanges évaginées de certains annélides et mollusques.
- Les poumons, qui sont des surfaces d'échanges invaginées des organismes vivants en milieu aérien (gastéropodes pulmonés «escargot»).
- Les trachées, sont des invaginations du tégument des insectes et forment des conduits tubulaires qui amènent directement l'air à chaque cellule. Le système circulatoire n'a alors pas de rôle respiratoire.

Un courant d'eau ou d'air doit assurer le renouvellement du fluide riche en O<sub>2</sub>: on parle de ventilation. Elle peut être assurée par des mouvements musculaires ou ciliaires.

### 3-1 Différents modes de respiration

Ce sont :

- La respiration branchiale: les échanges se font entre le sang et l'eau à travers les branchies.
- La respiration trachéenne: l'oxygène est conduit directement aux organes par les tubes ramifiés appelés trachées.
- La respiration trachéo-branchiale: la respiration se fait entre les branchies parcourue par des trachées.
- La respiration pulmonaire: les échanges se font entre le sang et l'air à travers les parois des poumons.
- La respiration cutanée.

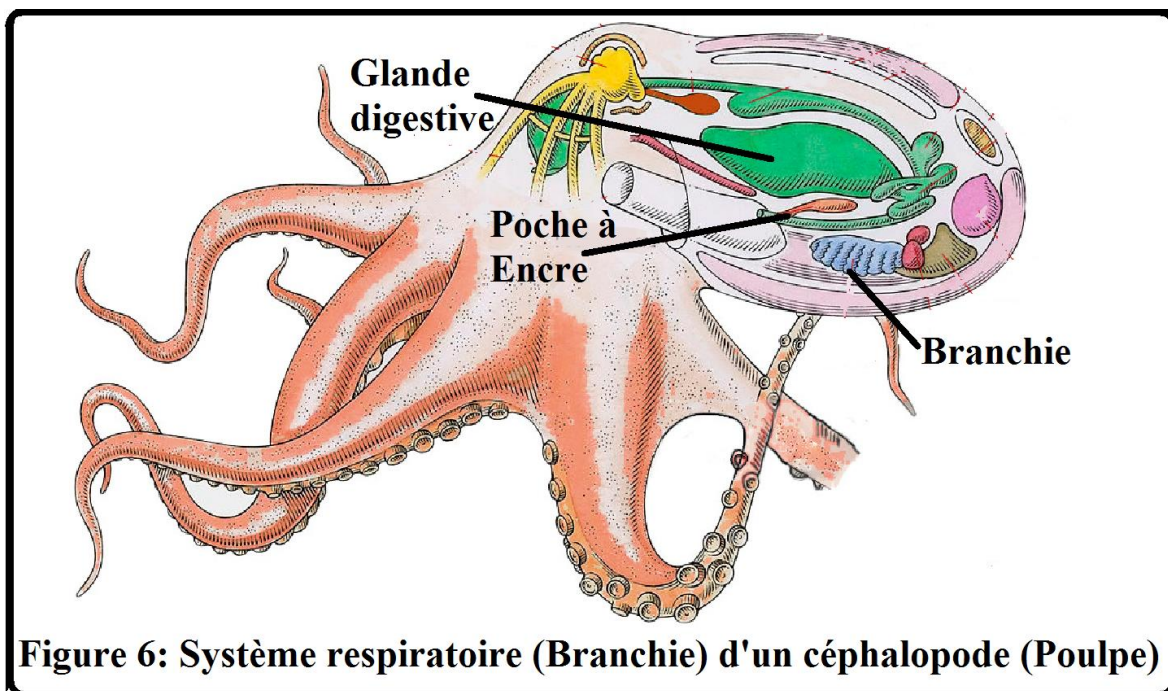
#### 3-1-1- La respiration branchiale

L'organe respiratoire ici est constitué par les branchies. Les branchies sont des structures plumeuses qui exposent de grandes surfaces respiratoires à l'eau. Elles sont riches en vaisseaux sanguins qui apportent le sang proche à la surface pour l'échange de gaz. Elles sont formées d'un arc branchial sur lequel sont fixés de nombreux filaments richement vascularisés qui contiennent de nombreux filaments (d'où leur coloration en rouge). Ces branchies baignent généralement dans l'eau où elles captent l'oxygène de l'eau qui pénètre dans les vaisseaux sanguins des branchies et se retrouve dans le sang. Celui-ci assure le transport de l'oxygène vers tous les organes du corps. Il ramène de ces organes le gaz carbonique qui sera rejeté dans l'eau à travers les branchies, exemple: la langouste, la sabelle. Chez les huîtres les mouvements fréquentent des cils qui retrouvent les branchies,

permet la circulation de l'eau et par conséquent le renouvellement de l'oxygène. Dans la respiration branchiale, les échanges gazeux se font entre l'eau et le sang à travers les branchies.

Chez les gastéropodes les plus primitifs, l'appareil respiratoire est constitué d'une ou deux cténidies situées au-dessus de la tête, de part et d'autre de l'anus.

Chez les gastéropodes les plus évolués, les branchies tendent à disparaître et la cavité palléale devient le lieu des échanges respiratoires. Ainsi, les prosobranches possèdent 1 ou 2 branchies en avant du cœur ; les opisthobranches ont une seule branchie en arrière du cœur, quant aux pulmonés, ils n'ont plus de branchies, la cavité palléale fonctionnant comme un poumon à air ou à eau.

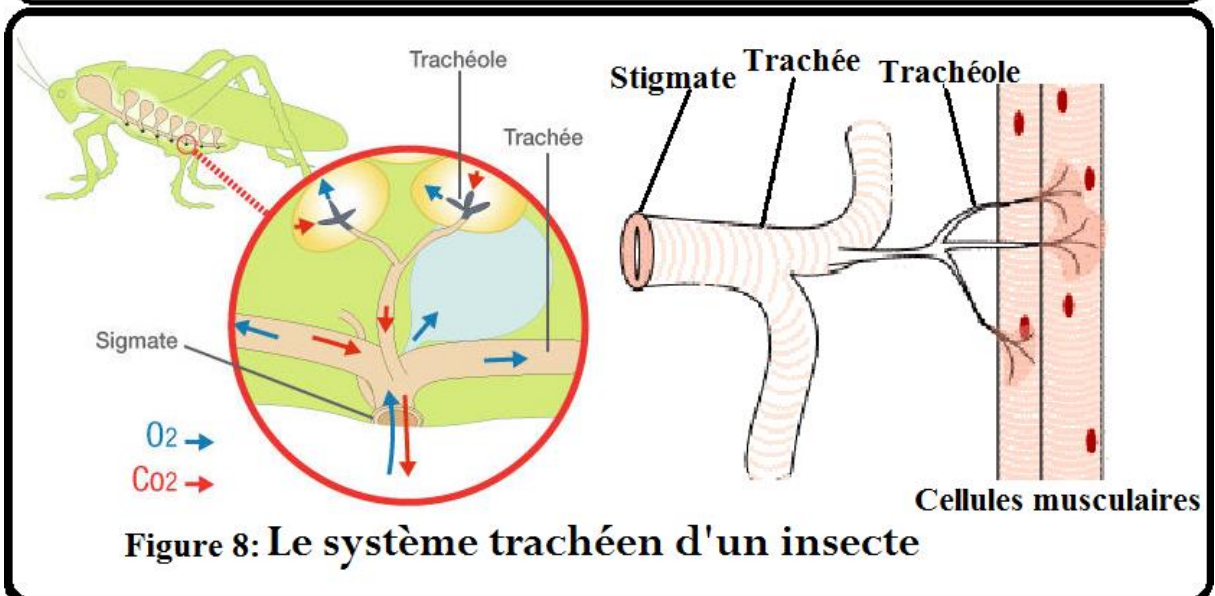
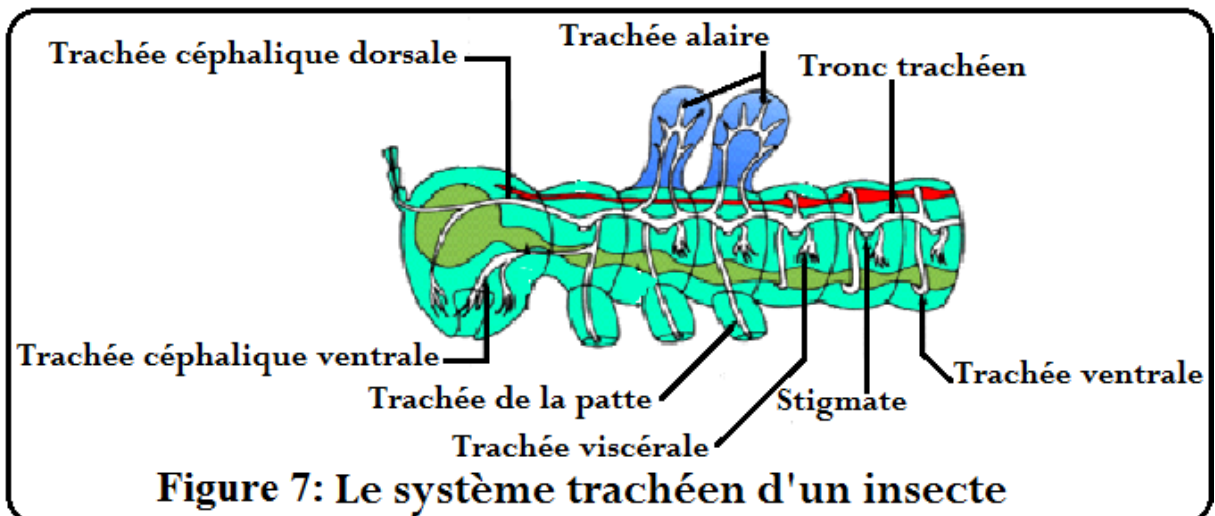


**Figure 6: Système respiratoire (Branchie) d'un céphalopode (Poulpe)**

### 3-1-2- La respiration trachéenne

Elle est rencontrée chez les insectes tels que le criquet et le dytique. Ici l'air est conduit directement par les trachées jusqu'aux organes utilisateurs (sans l'intervention du sang). L'air pénètre dans le corps de l'animal à travers les orifices appelés stigmates situés sur les côtés de l'abdomen. C'est grâce au mouvement de contraction des anneaux de l'abdomen que l'air est chassé des trachées (expiration) alors que les mouvements de dilatation provoquent un appel d'air (inspiration). L'air pénètre dans les tubes très fins qui se ramifient dans tous le

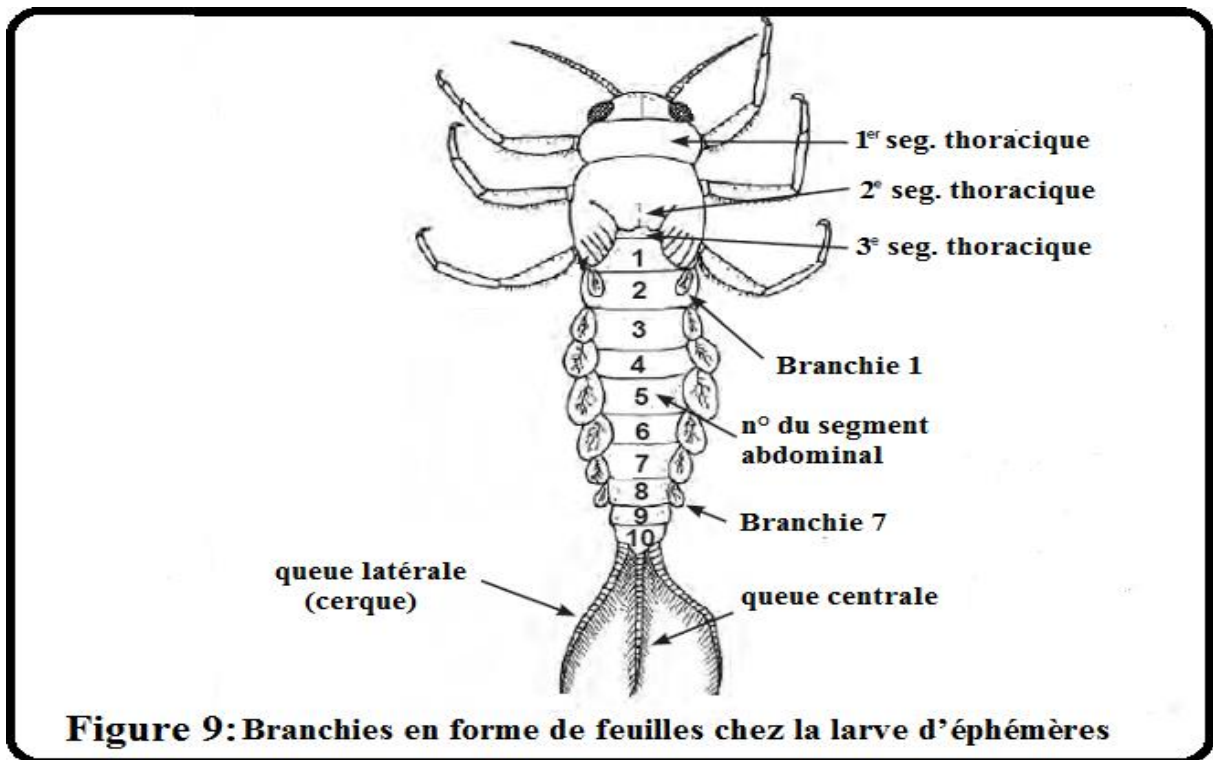
corps, ce sont les trachées. Cet air va s'accumuler à l'extrémité des trachées montrant un renflement correspondant aux sacs aériens.



Chez les insectes aquatiques à respiration trachéenne l'air est accumulé sous les ails dans une poche formant sa provision d'air. Lorsque l'insecte est émergé de temps en temps l'insecte remonte à la surface en vue de renouveler sa provision d'air. Chez les insectes aquatiques, la respiration trachéenne est la même que chez les insectes terrestres car l'air va directement aux organes en passant par les trachées.

### 3-1-3- Respiration trachéo-branchiale

Elle se rencontre chez les animaux aquatiques et particulièrement chez les larves d'insectes tels que la larve d'agrion (odonates). Ici l'animal est capable d'utiliser l'oxygène de l'eau grâce à ses branchies par la suite les trachées assurent la distribution de l'air dans l'organisme.



#### 3-1-4- Respiration cutanée

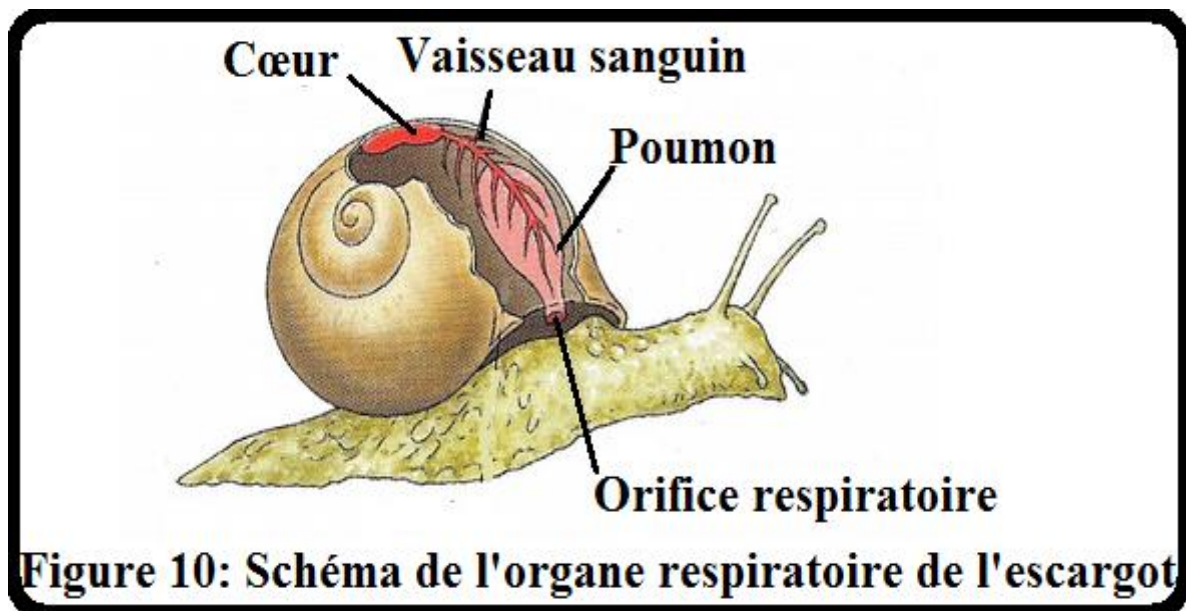
Chez les protozoaires, les spongiaires, les cœlentérés, etc., c'est le seul mode de respiration. Ici c'est la peau qui est l'organe car c'est à travers elle que s'effectuent les échanges gazeux entre l'air et les organes par l'intermédiaire du sang, par la suite le sang ramène vers la peau le gaz carbonique qui ressort à travers la peau humide. La respiration cutanée s'observe chez les vers de terre (lombric). L'assèchement de la peau entraîne sa mort, car elle devient imperméable. Les vers de terre n'ont ni poumons ni branchies pour respirer. La prise d'oxygène se fait par toute la surface du corps grâce à la peau qui assimile directement l'oxygène dissous dans l'eau. C'est donc une respiration de type cutané. À l'air libre, ils se dessèchent rapidement et meurent. C'est pour cette raison que les vers de terre doivent toujours maintenir leur peau humide. Ils se protègent du rayonnement solaire en se dissimulant dans la végétation et dans le sol et vont émerger à la surface seulement à la nuit venue comme le lombric. Si un ver est sorti de terre et exposé à la lumière solaire, il essaiera de se protéger du dessèchement qui entraîne la mort par des sécrétions d'un mucus protecteur. Dans le sol, une centaine de lombrics nécessitent aussi peu qu'un milligramme d'oxygène par heure.

#### 3-1-5- La respiration pulmonaire

L'organe respiratoire ici est le poumon qui assure les échanges gazeux entre le milieu extérieur (air) et les organes par l'intermédiaire du sang.

#### a/ Cas de l'escargot

L'escargot débarrassé de sa coquille montre une membrane mince humide riche en vaisseaux sanguins. Cette dernière qui était appliquée contre la coquille entoure une cavité remplie d'air: c'est le poumon. Le poumon n'est autre qu'une cavité entourée d'une membrane appelée manteau. Caché sous la coquille au cours de la respiration; l'air entre par l'orifice du poumon et une fois dans la cavité pulmonaire, l'air arrive dans les vaisseaux sanguins ou le transport vers les différents organes. Le sang revenant de ses organes est chargé de gaz carbonique qui est rejeté à l'extérieur à travers l'orifice pulmonaire détend généralement la température du milieu ambiant: rythme accéléré en temps humide et chaud ralenti en présence de basses températures ou des températures froides.



#### 3-1-6 La respiration transmembranaire

C'est celle qui se fait entre l'air et les organes à travers les orifices de la membrane de la peau.

- Elle est généralement observée chez les êtres unicellulaires telle que la paramécie, l'amibe.
- L'air du milieu ambiant traverse la membrane cellulaire et se retrouve dans le cytoplasme. Cette membrane est donc perméable à l'air.

Chez les invertébrés la respiration se déroule à travers les organes ensuite mettant en relation le milieu environnant et les organes:

- Poumon: respiration pulmonaire
- Branchies: respiration branchiale
- Trachée: respiration trachéenne
- Trachée branchie: respiration trachéo-branchiale
- Peau humide: respiration cutanée.

## 4- Nutrition Chez Les Invertébrés

L'alimentation fournit aux animaux des molécules exogènes qui après digestion et assimilation apportent:

Les précurseurs nécessaires à:

- \* La biosynthèse.
- \* La régénération et production de nouveaux tissus.

Des substrats énergétiques pour des processus continus :

- Mouvement,
- Métabolisme,
- Reproduction

La dégradation des molécules  énergie ATP

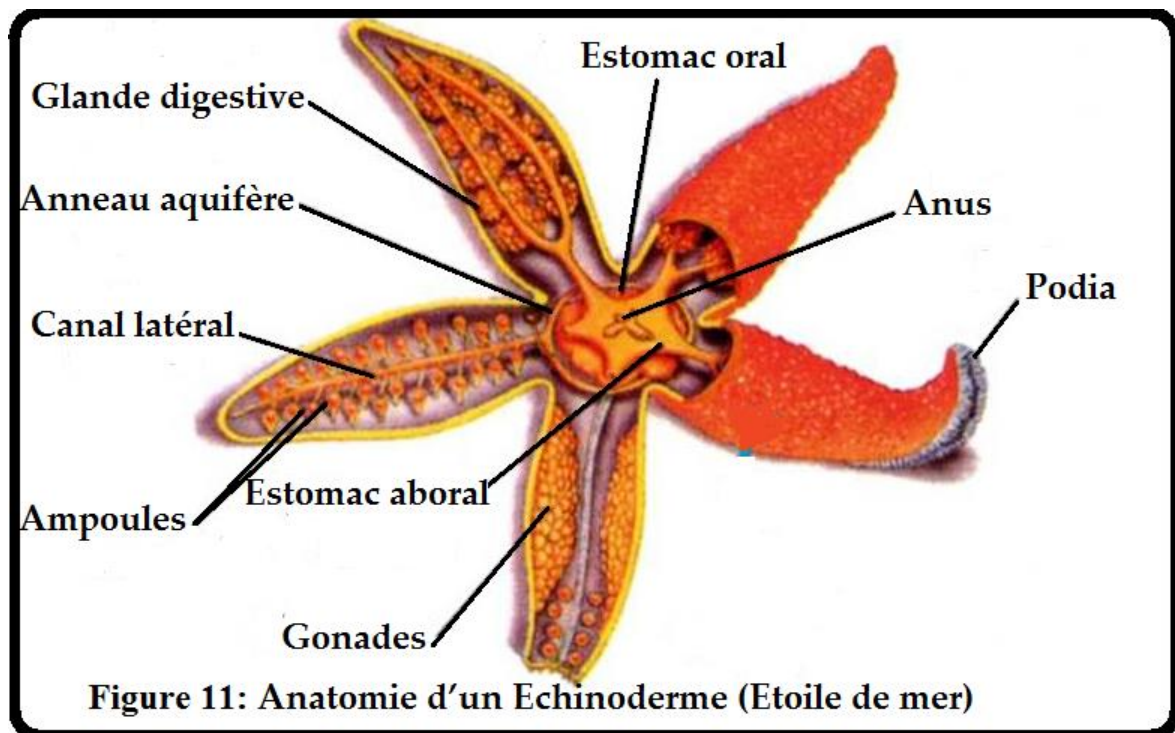
### 4-1- Les divers appareils digestifs

Les Amibes se nourrissent de deux façons. La première, la phagocytose, permet à l'amibe d'ingérer des particules. Les pseudopodes entourent la particule qui est incorporée au cytoplasme entourée d'une membrane formant une vacuole. La deuxième, la pinocytose, permet aux amibes d'ingérer des liquides ou des éléments nutritifs dissous. Chez la Paramécie, un cilié, l'ingestion a lieu dans une zone spécialisée de la pellicule appelée le cytostome. Le matériel ingéré est inséré dans une vacuole.

Chez les Coelentérés, l'appareil digestif est confondu avec l'appareil circulatoire, et leur réunion forme la cavité gastro-vasculaire; chez les spongiaires, les aliments pénètrent par les pores dits inhalants, circulent dans des canaux munis de cils vibratiles, et les fèces sont rejetées par les oscules; les Coralliaires sont carnivores qui s'emparent de leur proie en l'avalant et en s'aidant de leurs tentacules; la cavité gastro-vasculaire est garnie de cils vibratiles dont les mouvements dirigent l'aliment vers l'intérieur du corps; les matières fécales sont rejetées par régurgitation, l'orifice buccal remplissant aussi les fonctions d'anus; chez les Hydroméduses (forme hydraire), la cavité stomacale règne tout le long du corps. Dans la forme médusaire, la bouche s'ouvre à la face

inférieure de l'ombrelle, et souvent la cavité gastro-vasculaire se prolonge dans toute la longueur des tentacules.

Chez les Echinodermes l'appareil digestif est entièrement distinct de l'appareil circulatoire et maintenu dans la cavité viscérale par un véritable mésentère. L'anus ne manque que chez les Ophiurides et quelques Astérides.



Les Cestodes sont privés de tube digestif; les Trématodes ont un tube digestif sans anus, la bouche formant le fond d'une ventouse; les Turbellariés de même, mais il n'y a jamais de ventouse; chez les Nématodes, le tube digestif s'étend d'une extrémité à l'autre du corps sans délimitation nette.

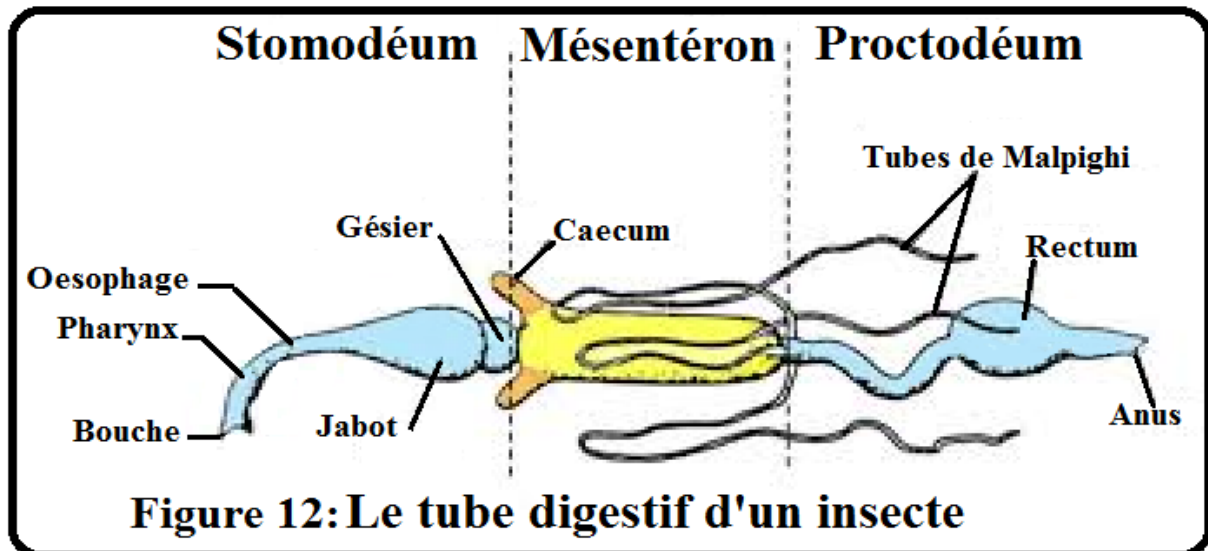
#### 4-2- Systèmes digestifs et adaptation

Ils permettent l'approvisionnement en nourriture, la digestion, l'absorption et l'élimination des produits non digérés.

La digestion est soit:

- Intracellulaires (protozoaires, diploblastiques)
- Extracellulaires par des systèmes digestifs (Métazoaires)

- Coexistence des 02 types comme les cnidaires; Les **tentacules** capturent les proies, les paralysent par les **cnidoblastes** et les amènent à la **bouche**. La digestion est extra-cellulaire dans la cavité gastrique avec un broyage dû aux mouvements du corps, puis intra-cellulaire après **phagocytose** dans les cellules endodermiques.

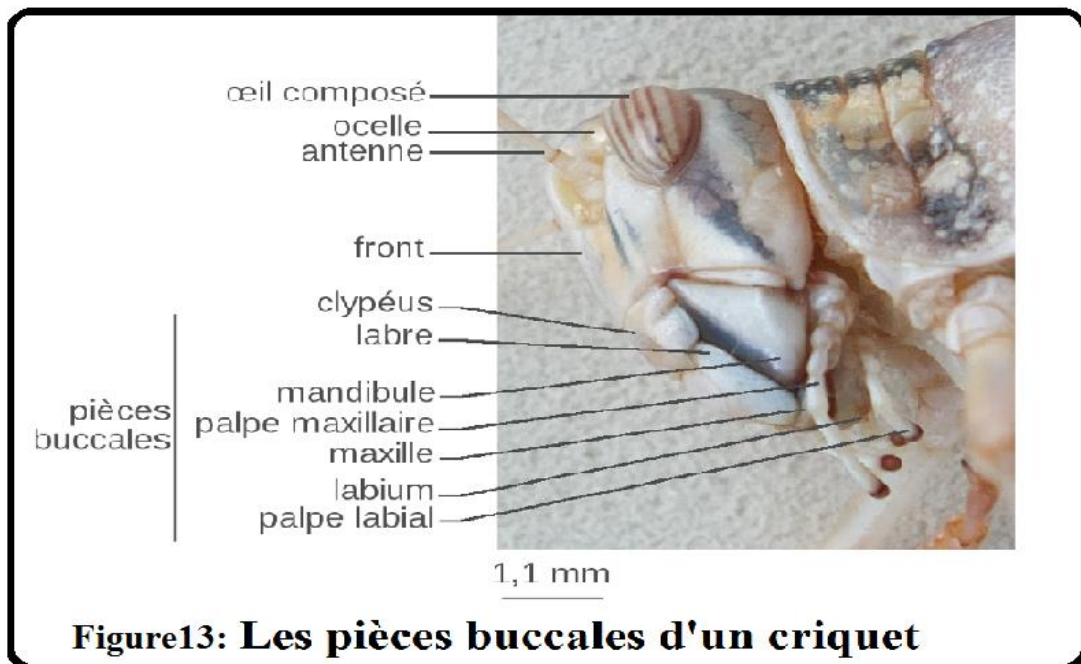


Se divisent selon leur fonction en 04 régions :

- *Région bucco-pharyngienne*: reçoit les aliments
- *Région antérieure*: dirige, stocke et digère les substances
- *Région moyen* : digère et absorbe les aliments
- *Région postérieure*: absorption de l'eau et défécation

**Région bucco-pharyngienne:** (intestin céphalique)

Permet la capture des aliments, On trouve dans cette région des glandes salivaires



**Intestin antérieur:** (stomodéum)

**Œsophage:** il conduit la nourriture de la bouche vers l'estomac

**Estomac:** stockage+digestion+mélange avec des sécrétions gastriques

Chez les insectes ; on trouve :

**Le stomodeum:** La cavité pré-orale est limitée par l'insertion des pièces buccales, par l'épipharynx et par l'hypopharynx. Le stomodeum proprement dit comporte dans l'ordre :

- Cavité buccale (= *pharynx*) : sa fonction est d'acheminer les aliments vers l'œsophage.
- Œsophage
- Jabot
- Gésier (= *proventricule*)

L'ensemble de ces formations est recouvert par une *intima* (= couche superficielle de la cuticule).

**Cavité buccale = pharynx :** La paroi du pharynx contient nombreux muscles radiaires rattachés aux pièces squelettiques voisines: muscles dilatateurs dorsaux et ventraux.

Le pharynx peut être très développé chez les piqueurs-suceurs (caractérise ce groupe).

**L'œsophage :** Conduit rétréci reliant le pharynx au jabot. Il achemine les aliments vers le jabot. Pas de morphologie particulière.

**Le jabot :** Le plus souvent, se présente comme une dilatation de l'oesophage, parfois dissymétrique. C'est le lieu d'accumulation temporaire des aliments prédigérés. Il possède des

parois plissées qui lui permettent de se dilater au moment du remplissage. Il est souvent le principal siège de digestion dans l'intestin antérieur sans produire lui-même des enzymes. Ses dernières ont 2 origines : le salivarium et le mésentéron.

Rôle de **stockage** essentiellement, mais contribue aussi à la digestion des aliments (présence de qq enzymes digestives provenant de la salive)

Peut intervenir dans la **mue** en se remplissant d'air, d'où une augmentation de volume entraînant le déchirement de l'ancienne cuticule.

**Le gésier** : possède un revêtement très épais doté de crêtes et de dents, offrant ainsi une surface broyeuse qui est importante pour les insectes se nourrissant d'aliments solides. Souvent absent chez les insectes suceurs se nourrissant de liquide, ou bien simple rôle de sphincter entre jabot et estomac.

**Intestin moyen**: c'est le principal site de la digestion comporte des cellules épithéliales; muqueuses → mucus, endocrines.

Chez les insectes; on trouve :

#### **Le Mésentéron = estomac**

- Sécrétion de la plupart des enzymes digestives
- Digestion
- Absorption de la plupart des nutriments issus de la digestion
- Parfois absorption d'eau (insectes à alimentation très diluée : sang, sève, ou à salive abondante: orthoptères).

Forme et développement très variables.

Sac allongé formé de **plusieurs chambres successives** (ventricules) : **caeca (caecums gastriques)** qui augmente la surface d'absorption est de sécrétion du mésentéron, chambres filtrantes....

Entouré de muscles circulaires et longitudinaux assurant le brassage des aliments et le transit intestinal. Epithélium simple, souvent plissé. Bordure en brosse (microvillosités) à la face apicale des cellules, recouverte par une couche de mucopolysaccharides

La sécrétion des sucs digestifs chez les insectes est de 2 types :

- **Holocrines** : (toutes les cellules se déchargent simultanément), c.à.d. que les cellules s'éclatent et libèrent leur contenu.
- **Méocrine** : Présence de cellules *méocrines* (gouttelette émise individuellement), les cellules ne se désintègrent pas c'est leur pôle apical qui est le sécréteur.

Absence d'intima (pas de cuticule), parfois présence d'une **membrane péritrophique** (protéines + chitine, mais perméable à de nombreuses substances).

**Intestin postérieur:** le rôle de l'intestin postérieur dans l'absorption est minime, il est subdivisé en 03 parties : iléon, colon et le rectum.

### **L'intestin postérieur ou Proctodeum**

Début par la *valvule pylorique*, puis :

- **Iléon**
- **Colon**
- **Rectum**

Arrivée des tubes de Malpighi

Délimité par une intima et un épithélium, dont les cellules sont parfois ciliées (rôle absorbant), d'autres fois sécrétrices (activité endocrine se manifestant notamment au moment des mues et de la métamorphose).

Fibres musculaires distribuées de façon irrégulière, parfois absentes.

Rectum souvent dilaté en poche anale parfois plissée avec glandes (ou papilles) rectales.

Les invaginations sont riches en mitochondries: surface absorbante d'ions et d'H<sub>2</sub>O.

### **L'intestin postérieur est le:**

- Site de stockage du reste dégénéré
- Lieu de la réabsorption de l'eau et les ions inorganiques
- Lieu de la formation des fèces

## **4-3- Transit, hydrolyse enzymatique, absorptions et régulations**

### **4-3-1- Transit**

Le transit des aliments se fait tout le long du tube digestif grâce à la motricité intestinale, la motricité du tube digestive constitue une caractéristique importante dans la fonction digestive pour le:

- Déplacement de la nourriture sur toute la longueur du tube digestif
- Traitement mécanique par broyage et malaxage des aliments.
- Mélange du contenu avec les sécrétions des cellules épithéliales.

Deux types de contrôles existent:

**a/ Contrôle intrinsèque**

Absence de stimulation nerveuse extérieure.

L'influence locale (stimulation chimique de la muqueuse)

**b/ Contrôle extrinsèque**

Présence de phénomènes nerveux ou hormonaux:

- 1- les hormones sont libérées localement et secrétées, souvent en réponse à des stimuli chimiques.
- 2- Le système nerveux contrôle la motricité intestinale; les cellules musculaires sont stimulées par l'acétylcholine et inhibées par la noradrénaline.

**4-3-2- Hydrolyse enzymatique**

Aliments (macromolécules) → Dégradation → Enzymes → Petites molécules  
(pour franchir les membranes cellulaires de l'intestin)

Les enzymes sont des protéines et sont des catalyseurs essentiels pour tous les phénomènes de digestion et toutes les réactions métaboliques.

**a- Caractéristiques enzymatiques**

Il y a de nombreux facteurs qui influent sur l'activité des enzymes:

**Température** : (45-80°C)

**PH** : selon le type d'enzyme (alcaline, acide)

**b- Groupes enzymatiques**

Il existe trois groupes principaux d'enzymes digestives correspondant aux 03 principaux groupes de nutriments ce sont: les protéases, les carbohydrases et les lipases.

Les glandes digestives sont :

- \* glandes salivaires des insectes.
- \* glandes pharyngiennes des Nématodes et certains Annélides.

\* glandes œsophagiennes des gastéropodes.

Aussi l'hépatopancréas. Le contenu enzymatique des sécrétions varie avec le régime alimentaire de l'animal.

#### **4-3-3- Digestion et absorption**

Parfois la digestion peut débiter en dehors de l'animal, certains prédateurs pratiquent une digestion extra intestinale et absorbent le liquide nutritif qui en résulte. La digestion interne reste la plus générale.

##### **a- Digestion des protéines**

Les enzymes protéolytiques les plus souvent rencontrées sont très actives au PH neutre ou alcalin. La digestion des protéines conduit à l'obtention d'A.A. qui seront absorbés rapidement au niveau des saecums et du mésentéron. Cette digestion est essentiellement une série d'hydrolyse de péptides. L'hémolymphe est très riche en A.A. libre et les protéines hemolympatiques sont sous forme de lipoprotéines transporteuses, quelque fois les peptides peuvent être absorbés par l'épithélium intestinal et l'hydrolyse finale des protéines serait grâce à l'action des peptidases.

##### **b- Digestion des glucides**

Les polysaccharidases (amylases) secrétées par les glandes salivaires et l'épithélium intestinal, hydrolysent les liaisons glycosidiques des glucides à longue chaîne (cellulose, glycogène et amidon) et libèrent des oligosaccharides et des disaccharides.

Les glycosidases situées à la surface externe des cellules absorbantes agissent sur des disaccharides (saccharoses, maltoses et lactoses). Les sucres sont ensuite réduits en monosaccharides (glucose, fructose et galactose)

##### **c- Digestion des lipides**

Les graisses sont insolubles dans l'eau et doivent donc subir un traitement particulier en deux 02 temps avant d'être mélangées au contenu aqueux du tube digestif.

Les graisses sont d'abord émulsionnées hydrosolubles par une mise en solution grâce d'une part, au brassage mécanique du contenu intestinal et d'autre part, à l'intervention d'un phospholipide.

Au cours de l'hydrolyse, les acides gras qui en résultent (insolubles dans l'eau) restent en solution par le jeu des sécrétions chimiques ou sels biliaires et peuvent être absorbés

Chez les Invertébrés la dégradation enzymatique est due aux lipases intestinales qui libèrent des acides gras, des monoglycérides et des diglycérides.

Chez les Insectes, les lipides sont surtout représentés sous forme de triglycérides qui sont hydrolysés en glycérol (hydrosoluble) et acides gras. Ces substances seront utilisés pour la synthèse de diglycérides qui passent dans l'hémolymphe puis seront stockés, sous forme triglycérides dans le corps gras.

#### **d- Autres enzymes digestives**

Les nucléases et nucléotidases servent à hydrolyser les acides nucléiques et leurs résidus.

## 5- Excrétion Chez Les Invertébrés

### 5-1- Définition de l'excrétion

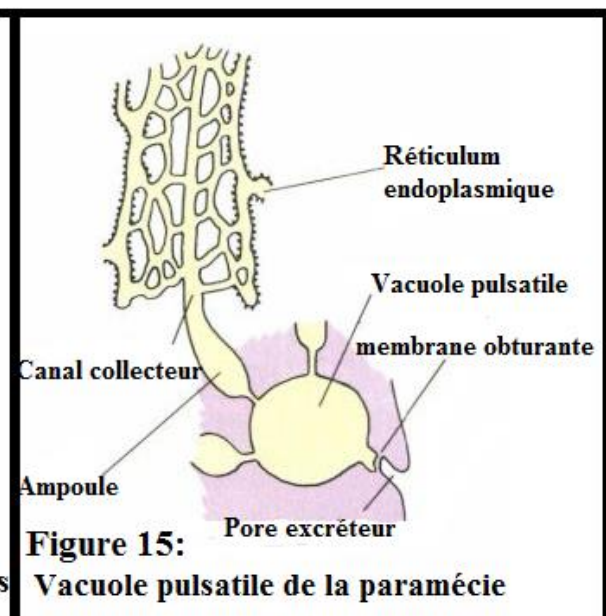
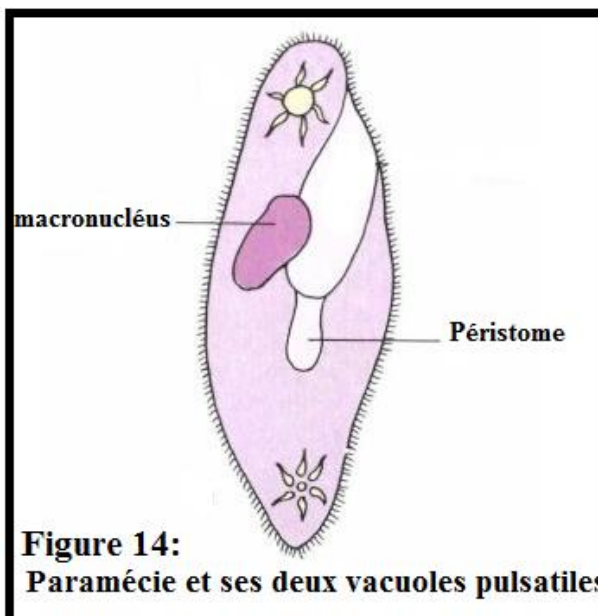
L'excrétion est une fonction qui a pour objet d'assurer la constance du milieu intérieur en éliminant les déchets métaboliques et en retenant ce qui est utile à l'organisme, cette élimination des déchets se fait **grâce** à des **os** ou des organes excréteurs, la nature des déchets du métabolisme azoté est assurée par la relation (eau – Animal) les animaux aquatiques; éliminent l'**ammoniac**, les animaux terrestres éliminent l'urée et acide urique.

### 5-2- Les organes excréteurs

La plupart des Protozoaires ainsi que les Spongiaires et les Cœlentérés n'ont pas d'organites ou de cellules spécialisées dans l'excrétion. Un Protozoaire où chaque cellule de ces Métazoaires inférieurs élimine ses propres déchets au travers de sa membrane plasmique.

#### 5-2-1- Vacuoles pulsatiles de quelques Protozoaires (Amibes, Flagellés, Infusoires Ciliés)

Il s'agit de minuscules cavités dont les parois (permanentes ou non) se contractent rythmiquement et qui déversent leur contenu liquide à l'extérieur par un canalicule (pré-formé ou non). Dans les vacuoles à paroi permanente débouchent des canalicules afférents qui drainent le cytoplasme par un réseau de canalicules secondaires en relation avec le réticulum endoplasmique. Ces vacuoles pulsatiles éliminent surtout l'eau que le Protozoaire absorbe obligatoirement dans un milieu hypotonique. L'élimination des déchets de son métabolisme est certainement accessoire.



### 5-2-2- Cellules d'accumulation de nombreux Invertébrés

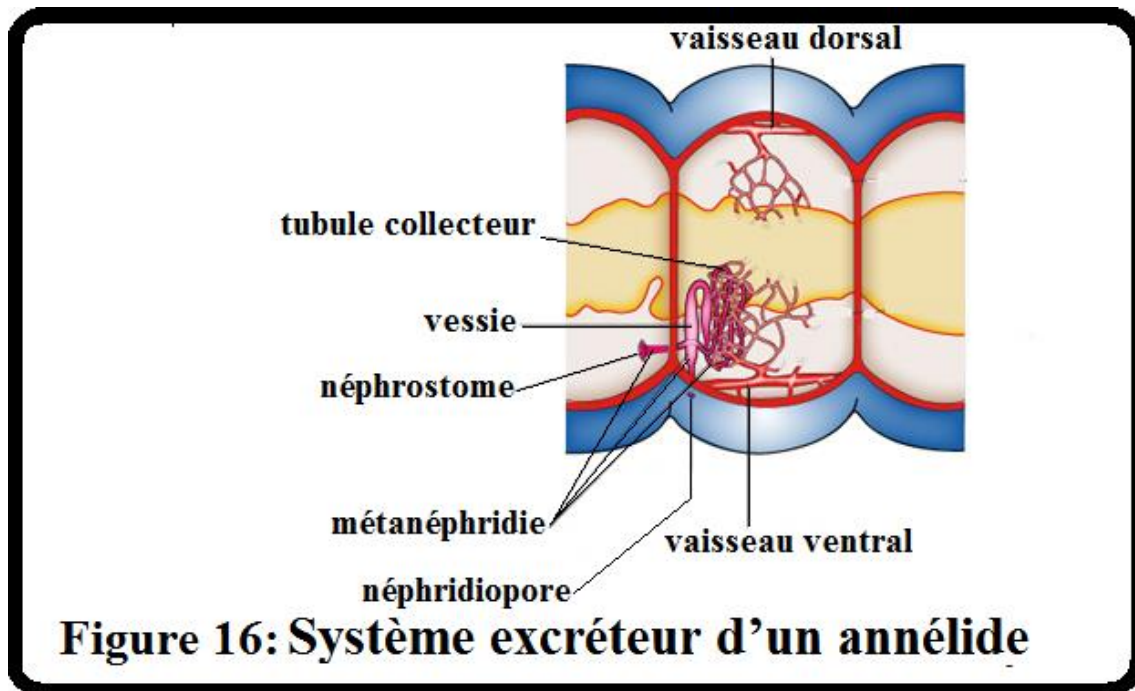
Chez les Métazoaires, certaines cellules se spécialisent dans le stockage temporaire ou permanent des déchets du métabolisme. Ce stockage peut être le résultat d'une *phagocytose* par des cellules amiboïdes mobiles (Échinodermes) ou par des cellules fixes, ou *athrocytes*, situées dans la paroi du système vasculaire (Arthropodes, Échinodermes). Il peut être également la conséquence d'une *synthèse* de substances de déchets par des cellules spécialisées, comme les cellules à *urates* du corps gras des Insectes et les cellules à *guanine* des diverticules de l'intestin moyen des Araignées.

### 5-2-3- Tubules excréteurs de nombreux Invertébrés

L'unité fonctionnelle élémentaire du système excréteur est généralement un petit tube à paroi épithéliale simple, dont les cellules éliminent de l'eau et des substances dissoutes, qu'elles puisent dans un espace tissulaire, dans la cavité cœlomique ou dans le sang.

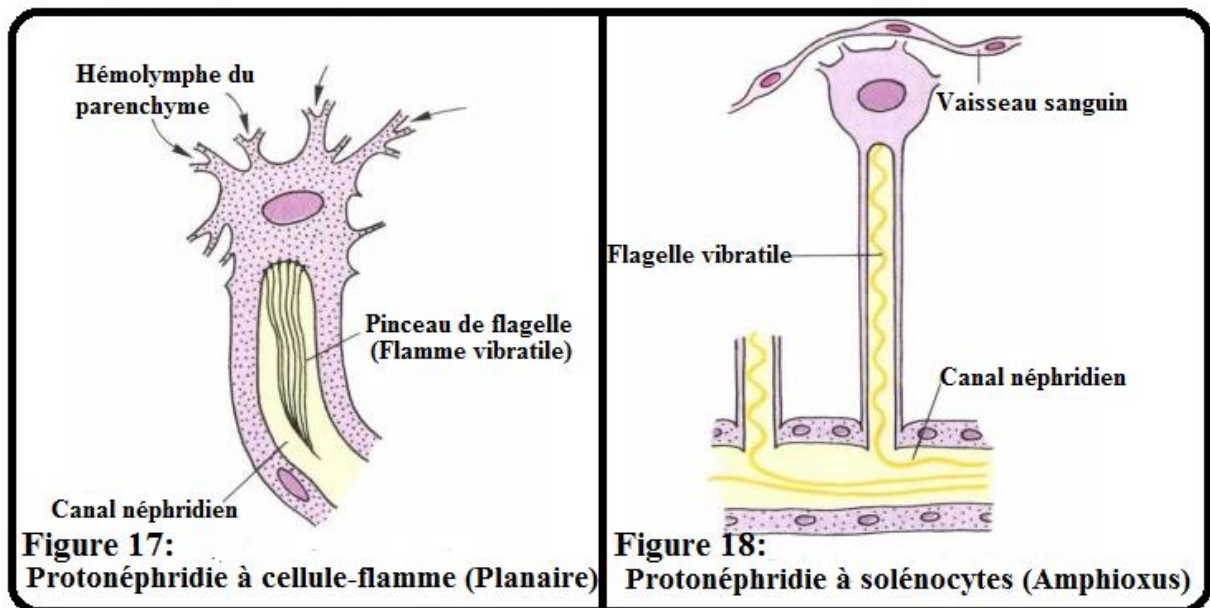
Les *néphridies* sont les plus primitives de ces structures tubulaires et sont largement répandues chez les Invertébrés. Elles peuvent être dispersées en grand nombre et sans régularité à l'intérieur du corps, simplement connectées à un système canaliculaire ouvert à l'extérieur (Plathelminthes), disposées régulièrement à raison d'une paire par segment et s'ouvrant directement à l'extérieur (Annélides) ou réduites à une paire (Mollusques).

Les *protonéphridies* sont fermées en cul-de-sac à l'une de leurs extrémités, l'autre s'ouvrant dans un canalicule collecteur commun en communication avec l'extérieur. Elles sont constituées par une grosse cellule creuse uni- ou plurinucléée, dans la cavité de laquelle battent un ou plusieurs cils vibratiles. Chez les Plathelminthes, cette cellule est appelée *cellule à flamme*, car elle possède un pinceau de cils agglutinés, ou flamme vibratile. Elle est munie de prolongements cytoplasmiques qui se ramifient dans le parenchyme, remplissant les espaces entre les organes.



Les *métanéphridies* sont ouvertes par un entonnoir, ou *néphrostome*, dans la cavité coelomique ou un dérivé de celle-ci. Elles sont disposées segmentairement chez les Annélides, de telle sorte que le néphridiopore s'ouvre sur le segment situé immédiatement en arrière de celui qui porte le néphrostome. Chez les Arthropodes, la régression du coelome entraîne celle des néphridies, qui ne subsistent chez l'adulte qu'en tout petit nombre. La paire de glandes coxales des Arachnides, débouchant à la base de la dernière paire de pattes ambulatoires, les glandes antennaires et maxillaires (paires) des Crustacés, ouvertes à la base des appendices correspondants, sont des métanéphridies en rapport avec une minuscule cavité coelomique. Les « reins » des Mollusques sont constitués par une paire de métanéphridies ouvertes dans la cavité péricardiale, d'origine coelomique.

Les *tubes de Malpighi des Arthropodes terrestres* sont des diverticules tubulaires de l'intestin moyen qui baignent dans l'hémolymphe, d'où ils extraient l'eau et les substances de déchets qu'ils déversent dans l'intestin.

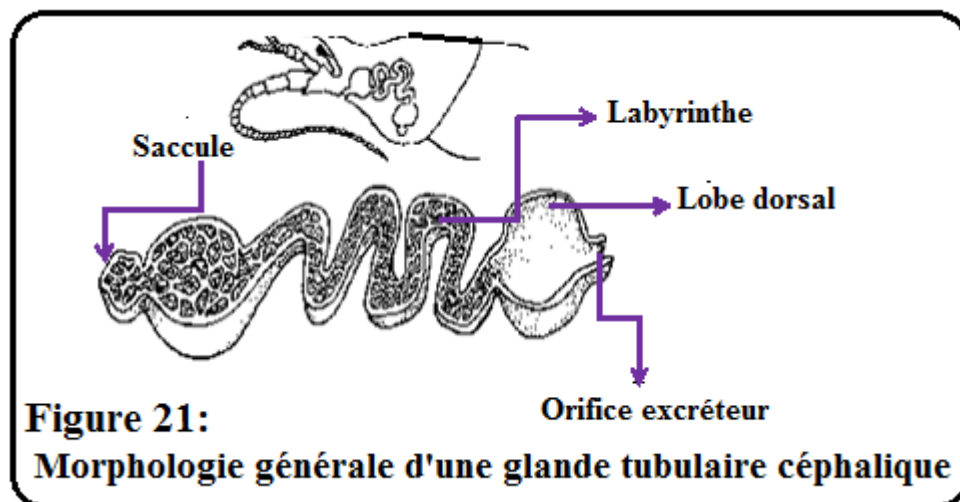


a- **Glandes tubulaires céphaliques:** se trouve chez les crustacés.

Les glandes sont composées de :

Lobe dorsal / saccule / canal excréteur qui débouche par un pore.

Cette glande est impaire.



b- **Les tubes de Malpighi :** ce sont des tubes qui sont fermés par leur extrémité distale qui s'insère à la limite de l'intestin postérieur et moyen.

Selon leur morphologie, on distingue 02 types de tube de Malpighi

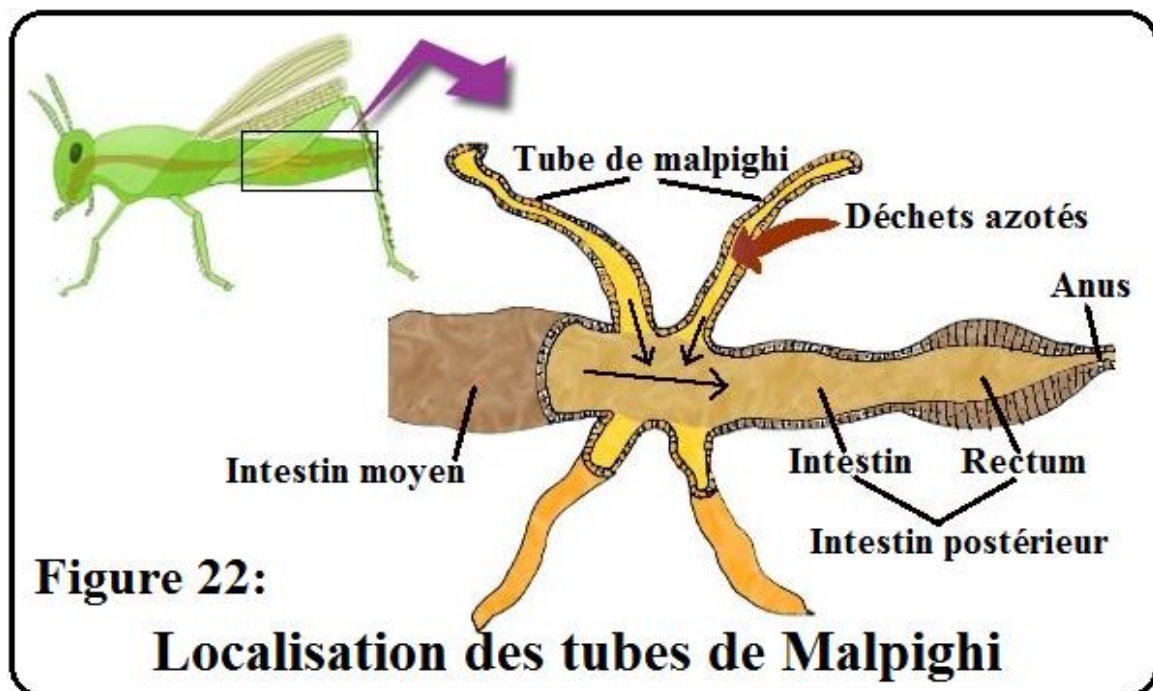
- **Tube de Malpighi libre:** peuvent se mouvoir dans l'hémolymphe.
- **Tubes de Malpighi liés:** par l'extrémité distale du rectum

### Structure des tubes de Malpighi

- Des fibres musculaires longitudinales qui assurent leur mouvement dans la cavité générale, favorisant ainsi les échanges entre le milieu externe et l'hémolymphe (milieu interne), la paroi du tube de Malpighi est limitée par des cellules Epithéliales large.

### Mécanisme de l'absorption de l'eau du segment rectal

Le segment distal est légèrement **basique** par rapport au segment basal. L'acide urique est pompé dans le segment terminal sous forme solide d'urate de  $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$ . Dans le segment basal il y a une absorption de l'eau et l'acide urique précipité



### 5-3- Les produits d'excrétion

- On distingue plusieurs composants du métabolisme azoté :

Ammoniac, l'urée  $\text{CONH}_2$ , l'acide allantoïque, allantoïne, acide urique, Guanine. Lorsque ces produits sont formés. Les animaux vont éliminer plusieurs types de composés avec un ou 02 composés qui vont prédominer.

## 6- Systèmes Nerveux Des Invertébrés

Le système nerveux est le groupe de cellules nerveuses (neurones) qui relie les organes sensoriels aux organes effecteurs (muscle, glande).

Les systèmes nerveux des animaux **primitifs** sont de simples circuits sensimoteur, avec au moins trois cellules: un **neurone sensoriel** ou récepteur, une cellule **effectrice** (musculaire ou glandulaire) et un **motoneurone** qui transmet l'information entre le neurone sensoriel et la cellule effectrice.

### 6-1- Organisation du tissu nerveux

- a- **Chez les espèces primitives**, le tissu nerveux est un réseau diffus interposé entre un tissu sensoriel épithélial et un tissu effecteur épidermique.
- b- **Avec l'évolution**, le tissu nerveux est moins diffus, les neurones se concentrent sur l'axe central de l'organisme et forment ainsi des cordons nerveux. Ces cordons présentent des renflements à intervalles réguliers, ce sont les ganglions nerveux auxquels sont connectés des nerfs contenant les fibres nerveuses sensorielles et/ ou motrices. Les nerfs sensoriels convoient vers ces ganglions les informations sensorielles provenant de la périphérie de l'organisme tandis que les nerfs moteurs transmettent les commandes motrices de ces ganglions vers les effecteurs (muscle, glande).

Quand un organisme possède plusieurs cordons nerveux, ceux-ci sont parallèles (ils suivent l'axe longitudinal) et les ganglions nerveux d'un même segment communiquent entre eux par des faisceaux de fibres transversaux (commissures ou connectif).

Chez les invertébrés, on trouve souvent 6 à 8 cordons nerveux longitudinaux connectés par des commissures transverses.

Le nombre de cordons et ganglions nerveux diminue avec l'évolution et le ganglion cérébral se développe pour donner un cerveau (concentration du tissu nerveux dans la tête). Ce phénomène s'appelle la céphalisation.

La Céphalisation apparaît chez les espèces pourvues d'une symétrie bilatérale (elle n'est pas présente chez les espèces dotées d'une symétrie radiaire par exemple)

On distingue donc chez les invertébrés, à partir des vers, un système nerveux central (SNC) composé d'un cerveau, de cordons et ganglions nerveux, et un système nerveux périphérique (SNP) composé des nerfs et des récepteurs sensoriels.

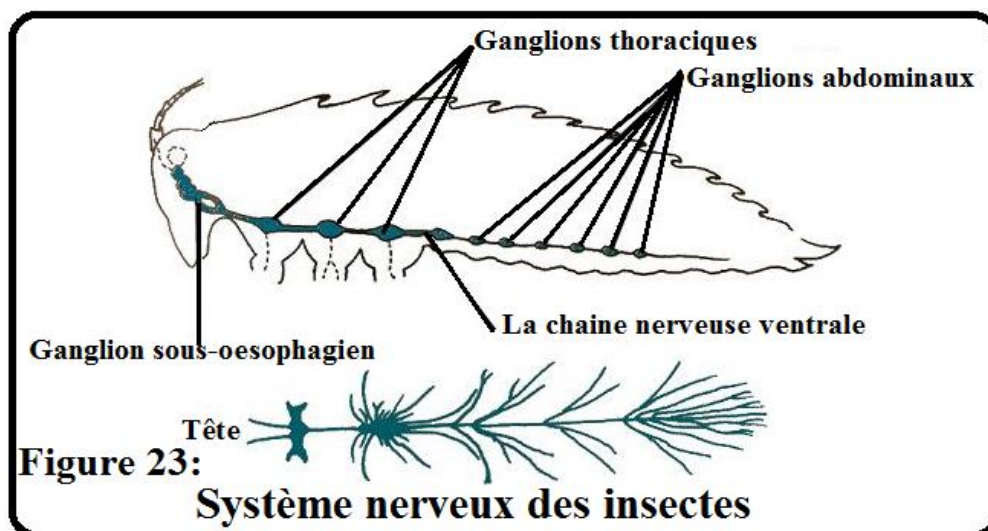
### 6-2- Différents types de système nerveux

**6-2-1 Animaux à symétrie radiaire :** (Ex) Cnidaires: l'épiderme contient des cellules sensorielles, des cnidoblastes, des cellules contractiles myoépithéliales et parfois des neurones spécialisés.

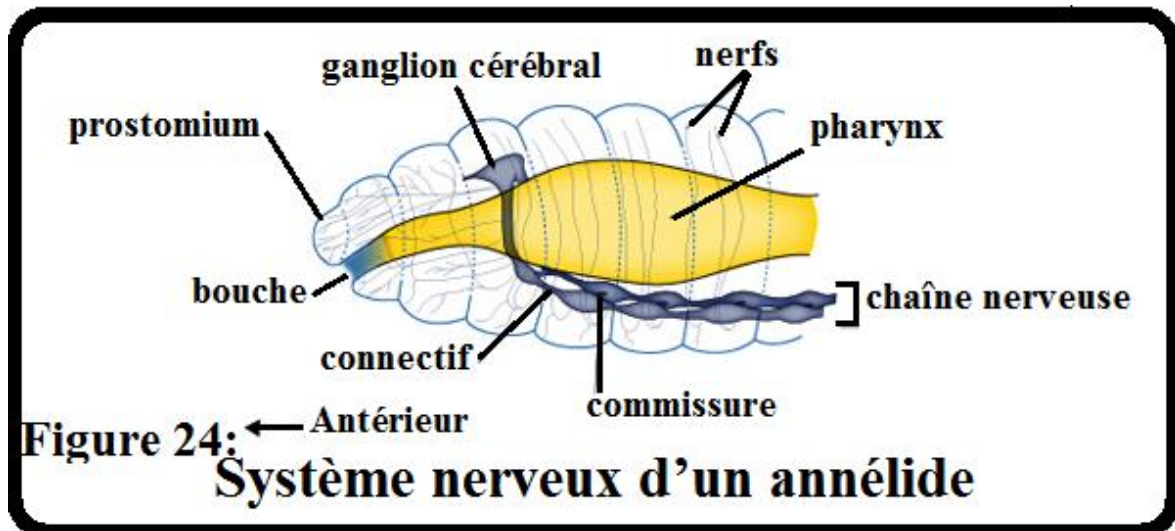
La plupart des cnidaires ont un réseau nerveux bien développé qui conduit l'information sensorielle rapidement pour générer des actions motrices (comme la contraction de l'ombelle pour la nage (méduses) ou des mouvements des tentacules). Chez une même espèce, on peut trouver un grand nombre de réseaux nerveux indépendants.

### 6-2-2- Animaux à symétrie bilatérale

Les animaux à symétrie bilatérale ont une partie « avant », une partie « arrière », un côté « gauche » et un côté « droit ». Au cours du processus de céphalisation, l'« avant » se spécialise en une tête sur laquelle et dans laquelle les organes sensoriels et le tissu nerveux se concentrent (ganglion cérébral ou cerveau). Ce cerveau est connecté à des cordons nerveux longitudinaux qui parcourent l'animal de l'avant vers l'arrière et sont parsemés de ganglions nerveux (initialement, un par métamère pour chaque cordon mais cette segmentation tend à se perdre dans certains groupes).



Ces cordons sont en position ventrale par rapport au tube digestif. Les invertébrés sont donc hyponeuriens (les cordons sont épineuriens).



- **Exemple (Mollusques)**

Chez les mollusques, on trouve une tendance à la céphalisation et la fusion des ganglions en quelques grosses le long des cordons.

Le cerveau des gastéropodes est organisé autour de l'œsophage en un collier péri-œsophagien. Ce collier comprend une paire de ganglions cérébraux (dont un buccal), une paire de ganglions pédieux (situés sous l'œsophage) et une paire de ganglions pleuraux ou palléaux. Les ganglions de ce collier péri-œsophagien sont reliés entre eux par des commissures ou connectifs. De ces centres supérieurs part une anse nerveuse viscérale sur laquelle se trouvent les ganglions viscéraux.

Le système nerveux des céphalopodes est similaire à celui des gastéropodes (avec des régions homologues aux ganglions des gastéropodes) mais il est arrangé différemment, en deux grosses masses qui entourent l'œsophage.

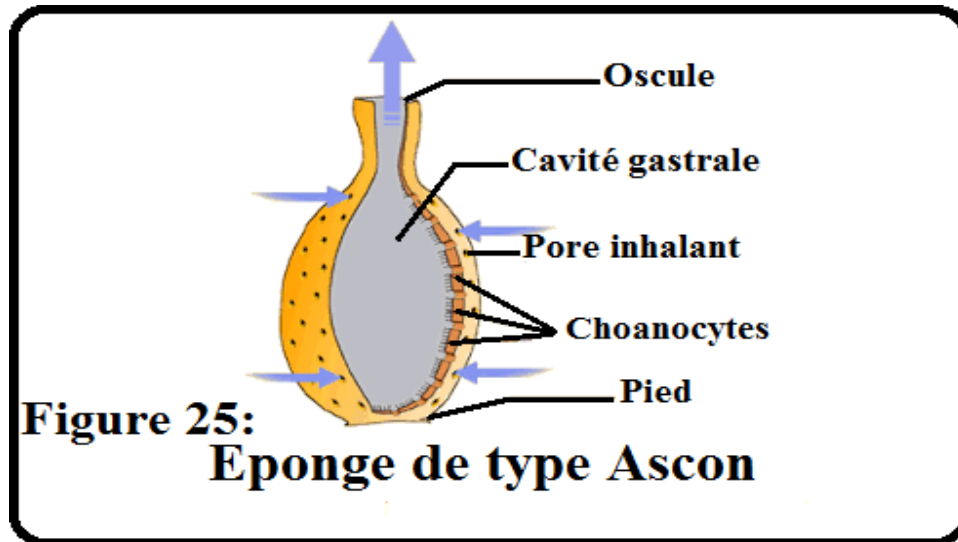
Ces masses correspondent à un regroupement des ganglions qui prennent alors le nom de « lobe ».

Les céphalopodes sont les seuls invertébrés à concentrer l'essentiel du système nerveux dans le cerveau. Ce cerveau bien développé est associé aux comportements les plus complexes observés chez les invertébrés. Ce sont des prédateurs avec une vision très élaborée et un répertoire comportemental varié incluant la reconnaissance d'objet, l'apprentissage, la résolution de problème (par exemple, comment extraire un crabe d'un récipient), la communication, le changement de couleur et la bioluminescence.

## 7- Contrôle endocrine de la fonction sexuelle

### 7-1- La reproduction des Spongiaires

#### Anatomie générale des Spongiaires



#### La reproduction clonale ou régénération

A partir de fragments on peut **régénérer** un clone. Ce fragment doit **s'attacher** au substrat et va se redévelopper pour donner une éponge identique à l'éponge de départ.

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

#### La reproduction sexuée

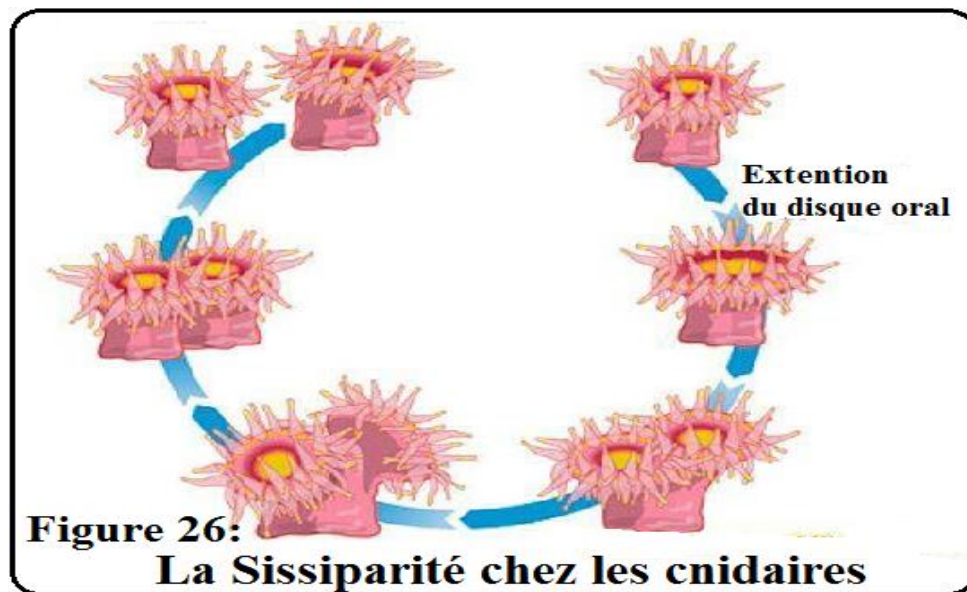
De nombreuses éponges sont hermaphrodites et possèdent donc soit des ovocytes soit des spermatozoïdes qui donnent un œuf émis par l'oscule.

Les spermatozoïdes sont émis par l'oscule et captés par l'ostium (pore inhalant) d'une autre éponge, il y a phagocytose par les choanocytes et transport vers les ovocytes. Après **fécondation**, les œufs sont émis par l'oscule.

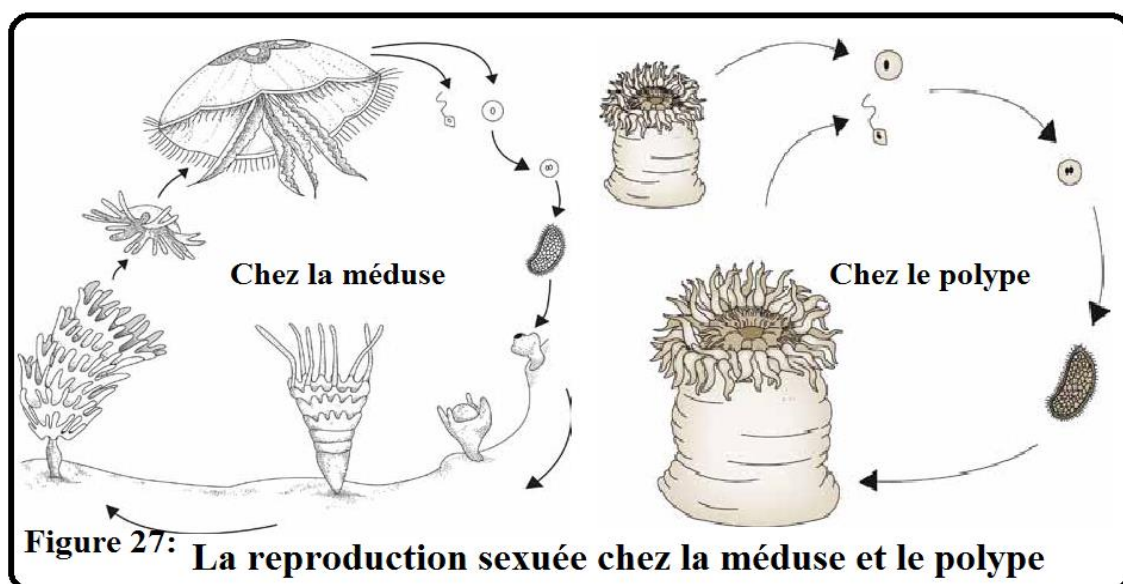
Les modes de reproduction sont diversifiés, il y a une adaptation à l'environnement.

### 7-2- La reproduction des Cnidaires

- **asexuée**: par bourgeonnement ou par scissiparité.



- **sexuée** : les gamètes sont produits dans l'endoderme, les sexes sont séparés en général. Les polypes **pontent** leurs gamètes et après la fécondation on obtient une larve planula qui se déplace grâce à un épithélium cilié. Cette larve redonnera un polype. Ce mode de reproduction est simple, on le retrouve chez les Anthozoaires. La larve contient des réserves, peut se nourrir de proie ou peut abriter une algue photosynthétique (Zooxanthelle: symbiose).



Chez les Scyphozoaires et les Hydrozoaires, la reproduction passe par un stade **méduse** qui porte les gamètes. Les polypes bourgeonnent et donne une forme méduse qui donne des gamètes qui donnent une larve **planula** qui donne un nouveau **polype**. Il y a donc dissémination par forme méduse et forme planula. Les polypes peuvent être plus complexes et fusionner pour former des colonies dont les ectodermes ont fusionné et où on ne peut plus différencier les individus.

Certains polypes se spécialisent en polype nourricier (Gatrozoïdes) et d'autres en polype reproducteur (Gonozoïdes) ce qui permet une meilleure survie de l'espèce.

### 7-3- La reproduction des Plathelminthes

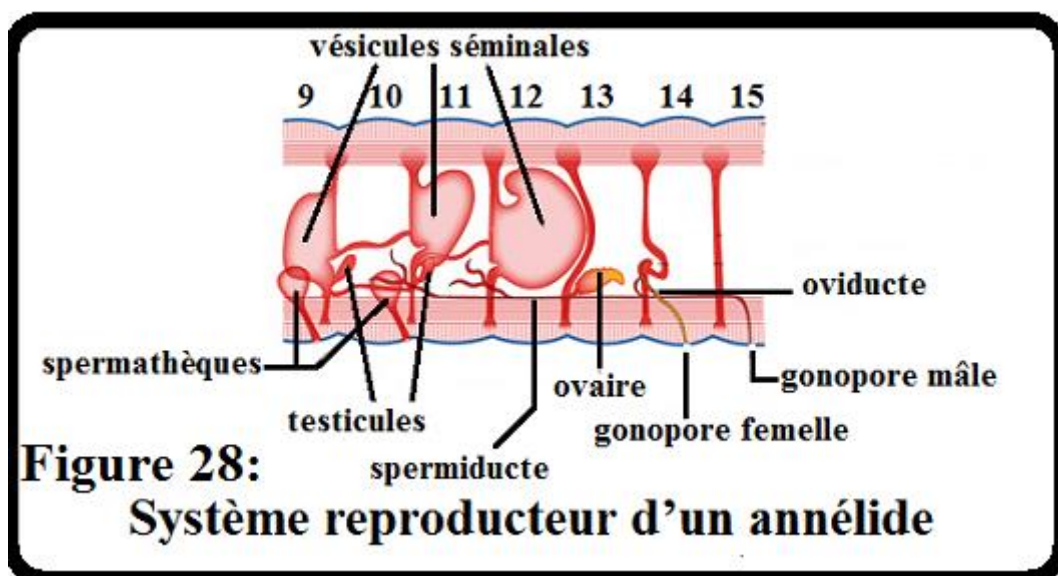
- **asexuée**: caractérisée par la capacité de régénération; à partir d'1/3 de l'animal on arrive à obtenir un animal entier: scissiparité et bourgeonnement.
- **sexuée**: ils sont hermaphrodites mais il y a protérandrie c'est-à-dire qu'il y a d'abord maturation des gonades mâles avant les femelles. La fécondation croisée est donc obligatoire.

### 7-4- La reproduction des Annélides

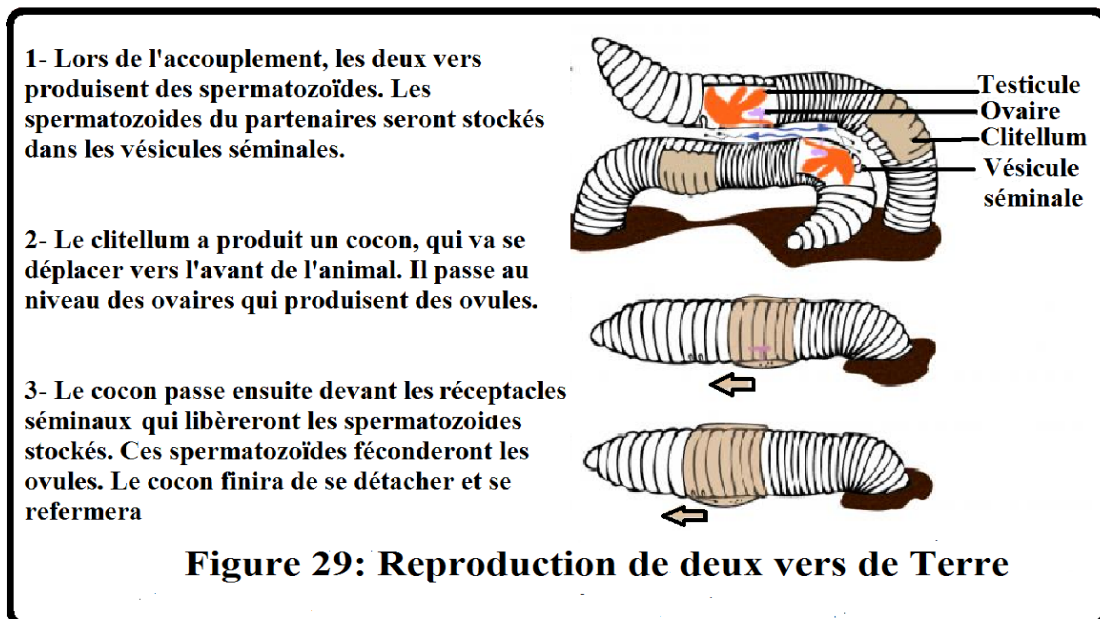
#### 7-4-1- La reproduction du Lombric

- **Asexuée**: par régénération à partir d'un seul métamère, c'est l'avantage de la métamérie;
- **Sexuée**: L'animal est hermaphrodite et c'est une espèce protérandrique donc il y a fécondation croisée.

Les organes reproducteurs mâles sont sur les segments 9, 10, 11, 12 et 15 qui porte l'orifice; les organes reproducteurs femelle sont sur les segments 13 et 14 qui porte l'orifice. Les segments 32 à 37 forment la gangue muqueuse « clitellum ».



Les spermatozoïdes migrent le long de l'animal pour arriver dans les réceptacles séminaux (spermathèque). Quand ils sont accouplés, les 2 lombrics sont au stade sexuel mâle.



Dans certains cas, il y a accolement du gonopore mâle sur les réceptacles séminaux.

Ensuite on passe à la phase de maturation des organes génitaux femelles. Il y a fabrication de la gangue muqueuse au niveau du clitellum puis l'animal recule pour atteindre le segment 9 (spermathèque) ou il y aura fécondation externe : les spermatozoïdes d'un lombric sont déposés sur les organes génitaux femelles de l'autre lombric puis il y a formation d'un cocon. L'œuf donne alors un juvénile qui ressemble Directement à l'adulte.

#### 7-5- La reproduction des Mollusques

La plupart des Prosobranches sont gonochoriques avec fécondation et développement externe. La gonade gauche **disparaît** et la droite **subsiste**.

Les Pulmonés et les Opisthobranches sont hermaphrodites avec fécondation interne et des organes génitaux plus compliqués.

Les 3 cavités cœlomiques sont en contact: le conduit rénal provient de l'association du système génital droit et du système pseudo-rénal droit qui ne se développe pas. Il y a donc des liens anatomiques, embryologiques et fonctionnels entre les organes qui sont l'illustration du fait que les 3 cavités cœlomiques ont une origine commune. La fécondation croisée avec ovotestis (ovaire et testicule). Il y a activation des spermatozoïdes de l'autre individu (de l'allosperme) et inactivation des spermatozoïdes de l'individu pour éviter l'autofécondation.

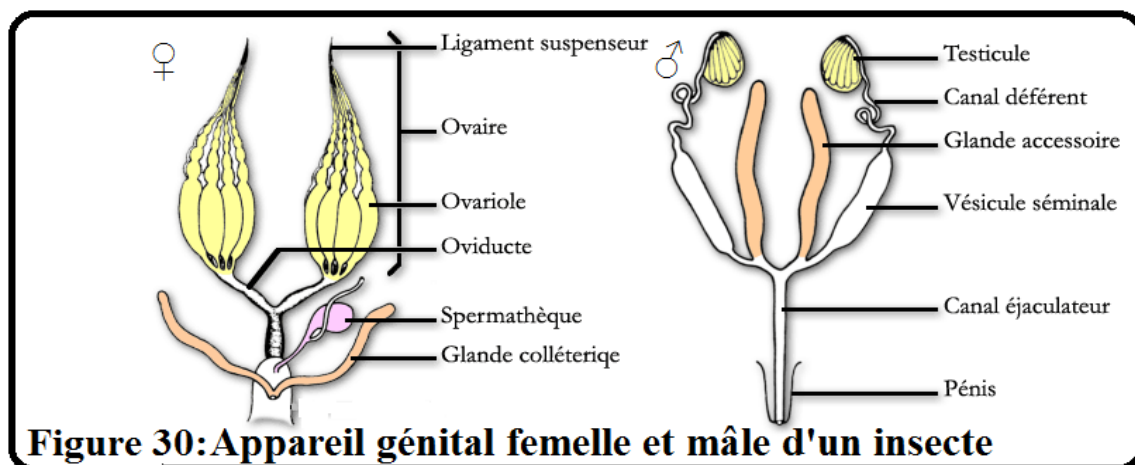
- **Contrôle endocrinien et neuroendocrinien de la reproduction chez les gastéropodes**

La connaissance de l'endocrinologie des gastéropodes pulmonés a considérablement progressé durant les 30 dernières années avec l'identification de plusieurs types de cellules neurosécrétrices dans les ganglions nerveux. Il est maintenant clair que les fonctions neuroendocriniennes, chez les gastéropodes, sont régulées par des cellules neurosécrétrices situées au niveau des ganglions cérébraux et que la fonction endocrinienne est régulée par les cellules endocriniennes des corps dorsaux (CD) du tissu connectif des ganglions cérébraux. Une fonction endocrine a également été détectée au niveau des tentacules céphaliques et de l'ovotestis.

### 7-6- La reproduction des Insectes

Ce sont des espèces gonochoriques. La fécondation est interne, il y a donc des organes copulateurs. Le mâle s'entoure autour de la femelle qui est en général plus longue. Le spicule permet de garder le gonopore de la femelle ouvert et permettent de maintenir le mâle accroché.

Le nombre d'œuf est très variable: 50 chez les espèces libres, 200 000 /jours chez les parasites.



**Figure 30: Appareil génital femelle et mâle d'un insecte**

- **Contrôle endocrinien de la reproduction chez les insectes**

Chez les insectes, le système endocrine, qui produit ces hormones, se compose de 4 ensembles principaux: le cerveau et les corps cardiaques qui produisent des neurohormones stimulant la production d'hormones par les corps allates, les glandes prothoraciques et les ovaires. Les hormones du cerveau déclenchent la mue en stimulant la production d'hormones de mue par les glandes prothoraciques et d'hormone juvénile par les corps allates. Tant que le taux d'hormone juvénile est suffisant, l'animal garde ses caractères juvéniles et on passe, à chaque mue, d'un stade larvaire à un autre; si par contre la production

d'hormone juvénile diminue fortement, la mue suivante voit l'apparition du stade nymphal et la disparition totale de cette hormone conditionne la métamorphose, c'est-à-dire la formation de l'adulte. Chez cet adulte, l'hormone juvénile joue également un rôle dans la maturation des ovaires et le contrôle de la reproduction.

## 8- Les Organes De Sens Des Invertébrés

- Il existe 6 modalités sensorielles de base chez les animaux, qui répondent à des stimuli de nature différente: molécule chimiques, lumière, mouvements mécaniques, champ électrique, champ magnétique et variation de température. Pour chacun de ces stimuli, il existe des cellules réceptrices spécialisées qui sont soit des **extérocepteurs** (réception des stimuli provenant de l'environnement), soit des **intérocepteurs** situés à l'intérieur de l'organisme et qui jouent un rôle dans la régulation physiologique comme le PH par exemple.

### 8-1- Chimioréception

Chimioréception est la détection sensorielle des molécules chimiques. C'est le sens le plus répandu dans le règne animal. Il est essentiel aux comportements les plus élémentaires comme la recherche de nourriture, de partenaires sexuels et le repérage des prédateurs.

Les cellules chimoréceptrices sont soit isolées soit regroupées en petites ensembles. Ce sont soit des récepteurs de **contact** soit à **distance**.

### 8-2- Mécanoréception

Les mécanorécepteurs mesurent la force et le mouvement, ce qui correspond à un grand nombre de situation : étirement ou plissement des tissus conjonctifs, mouvement de soies étirement de tissu musculaire, mouvement des fluides, équilibre statique ou dynamique et audition.

Ils peuvent avoir une structure très variable. Chez les invertébrés, les plus simples sont les neurones **rattachées à une soie** et qui répondent à un mouvement d'air; les plus complexes sont les neurones responsables de l'audition. La plupart sont des mécanorécepteurs **ciliés**.

### 8-3- La Photoréception

La photoréception est répandue dans le règne animal, avec de niveaux de complexité très variables. Elle peut aller de la simple détection de lumière à la discrimination de couleurs et à la formation des images complexes. *Les photorécepteurs sont en général regroupés en tissus et localisés dans un organe (l'œil).*

## 1- La Sensibilité Chimique

Tous les animaux sont en permanence stimulés par des molécules libérées dans l'environnement.

La plupart des signaux chimiques (parfums, odeurs, effluves, phéromones) sont de nature volatile.

Ces molécules sont détectées soit par des récepteurs de contact soit à distance.

D'un point de vue phylogénétique, ces sensibilités sont issues de systèmes sensoriels primitifs.

La sensibilité chimique est universelle dans le monde animal.

Ces sensibilités entraînent des comportements comme la recherche de nourriture ou d'un partenaire sexuel.

Par exemple : Une colonie de coraux répond à la stimulation provoquée par un petit morceau de viande dans la mer en étendant leurs corps et tentacules pour rechercher la nourriture. Un seul acide aminé peut induire cette réponse. Par contre, si le petit morceau de nourriture provient d'un animal blessé, les membres de la colonie vont rétracter leurs tentacules pour éviter tout danger.

De même chez l'homme, l'odeur de pain frais et chaud nous fait saliver et induit une sensation de faim. L'odeur d'une viande pourrie, libérant des diamines provoque un sentiment de dégoût, de répulsion (voire de nausée).

La plupart des animaux possèdent des récepteurs spécifiques aux molécules importantes y compris au glucose, aux acides aminés, au glutathion, au dioxygène et au dioxyde de carbone.

Dans tous ces exemples, la molécule qui constitue le stimulus se fixe à la cellule réceptrice en se liant à un site spécifique de la membrane et elle modifie la perméabilité de la membrane.

Chez les animaux terrestres, **le goût** permet de percevoir certaines substances chimiques sous forme de solution et **l'odorat** sert à reconnaître les substances chimiques volatiles transportées par l'air.

Cependant ces sens de nature chimique sont très apparentés et il n'existe pas de véritable distinction entre eux dans le milieu aquatique.

- **Sensille olfactive d'insecte**

Les structures olfactives des insectes sont essentiellement disposées sur les antennes. Elles portent sur leur surface une forte densité de soies, les sensilles olfactives : 36000 chez le hanneton mâle et plus de 100 000 chez la blatte. Chaque sensille est formée par une évagination de la cuticule perforée. Les dendrites des neurones bipolaires (sensitifs) baignent dans un liquide sensillaire.

- **Détecteurs chimiques chez le papillon du ver à soie « Les cils olfactifs »**

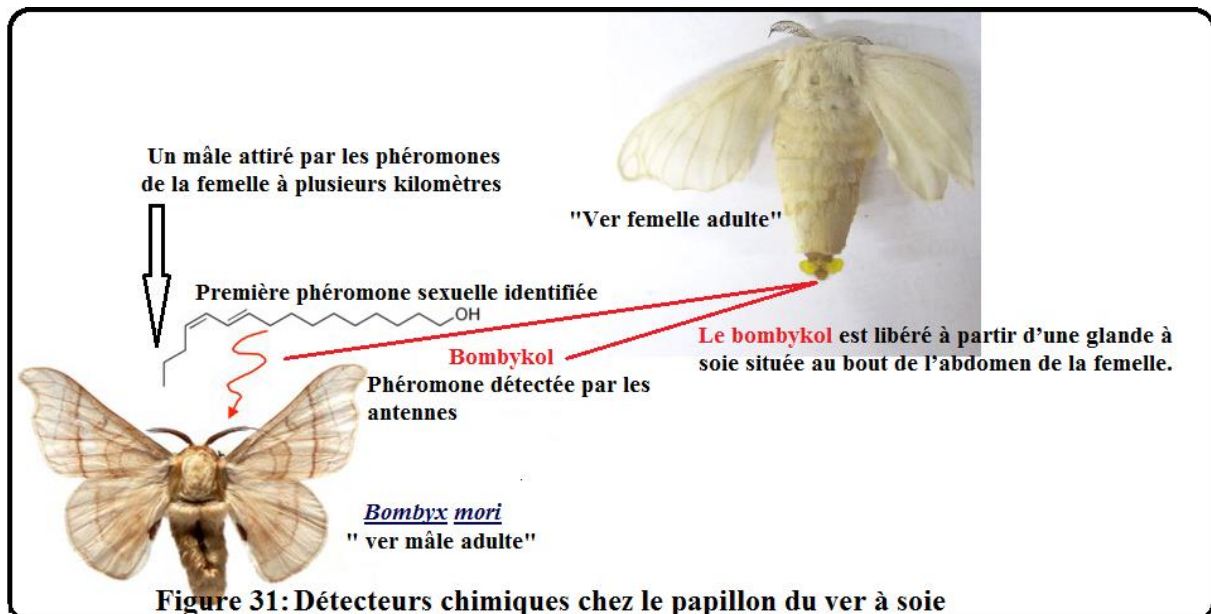
Chez les Bombyx du Mûrier, les organes de l'olfaction siègent au niveau des antennes. Les femelles utilisent des signaux chimiques pour attirer leurs partenaires sexuels.

Les antennes du mâle possèdent l'un des chimiorécepteurs les plus sensibles et des plus spécifiques connus. Il sert à détecter une phéromone sexuelle appelée bombykol ou bombykol. Le bombykol est libéré à partir d'une glande à soie située au bout de l'abdomen de la femelle. Le mâle possède des antennes recouvertes de cils chimiosensibles au bombykol. Chaque antenne plumeuse porte environ 10 000 cils olfactifs sensibles au bombykol. Chacun de ces cils sensoriels a à son extrémité une dendrite d'une cellule détectrice. Une seule molécule de bombykol est suffisante pour activer cette cellule et générer des PA dans le nerf de l'antenne et de là au système nerveux central. Lorsque 200 cils sont activés par seconde, le mâle vole contre le vent pour rechercher la femelle.

Du fait de la grande sensibilité d'un tel système, le message sexuel atteindra tous les mâles sous le vent, même à plusieurs kilomètres.

La fréquence de décharge des nerfs sensoriels du mâle est proportionnelle à la concentration de bombykol dans l'air.

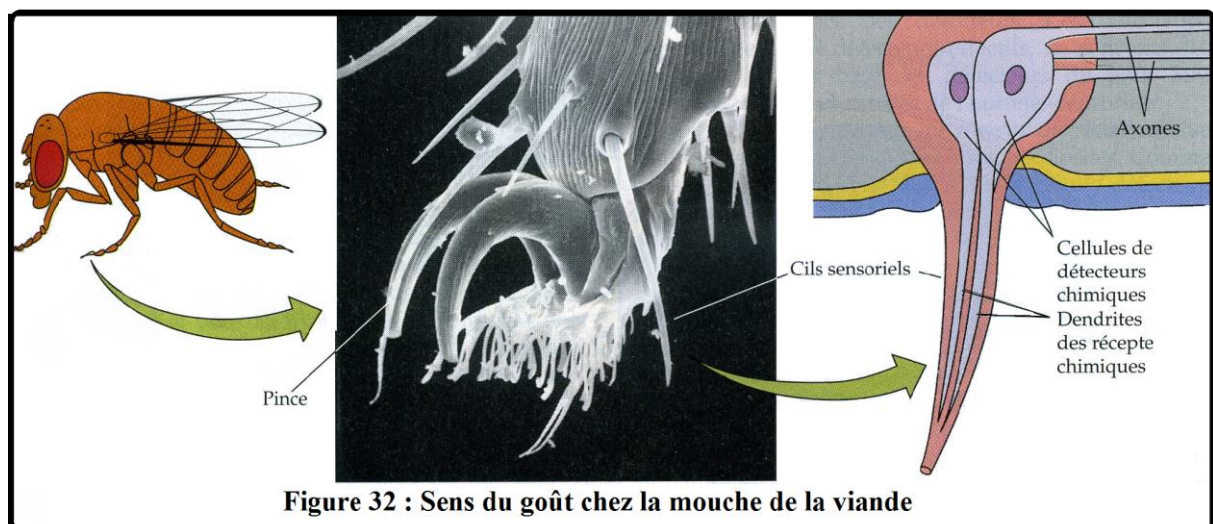
Le mâle peut suivre le gradient de concentration qui le conduira à la femelle.



- **Sens du goût chez la mouche de la viande**

Les soies gustatives des pattes et des pièces buccales contiennent chacune quatre cellules chimioréceptrices. Chacune de ces cellules est capable de distinguer un certain type de stimulus chimique comme les sucres, les AA, les sels et d'autres substances.

Les dendrites s'étendent jusqu'au pore situé à l'extrémité de la soie. Ces insectes se servent de leur sens du goût pour choisir leurs aliments. Chaque cellule chimioréceptrice s'avère particulièrement sensible à un type précis de substance.



Certaines cellules par exemple réagissent mieux aux protéines, au sel ou aux glucides. Mais cette spécificité est relative. Chaque cellule peut répondre dans une certaine mesure à un large éventail de stimuli chimiques; par exemple, la cellule chimioréceptrice B

réagit le mieux aux glucides et à la viande. N'importe quelle source de nourriture présente dans la nature stimule probablement plusieurs cellules chimioréceptrices.

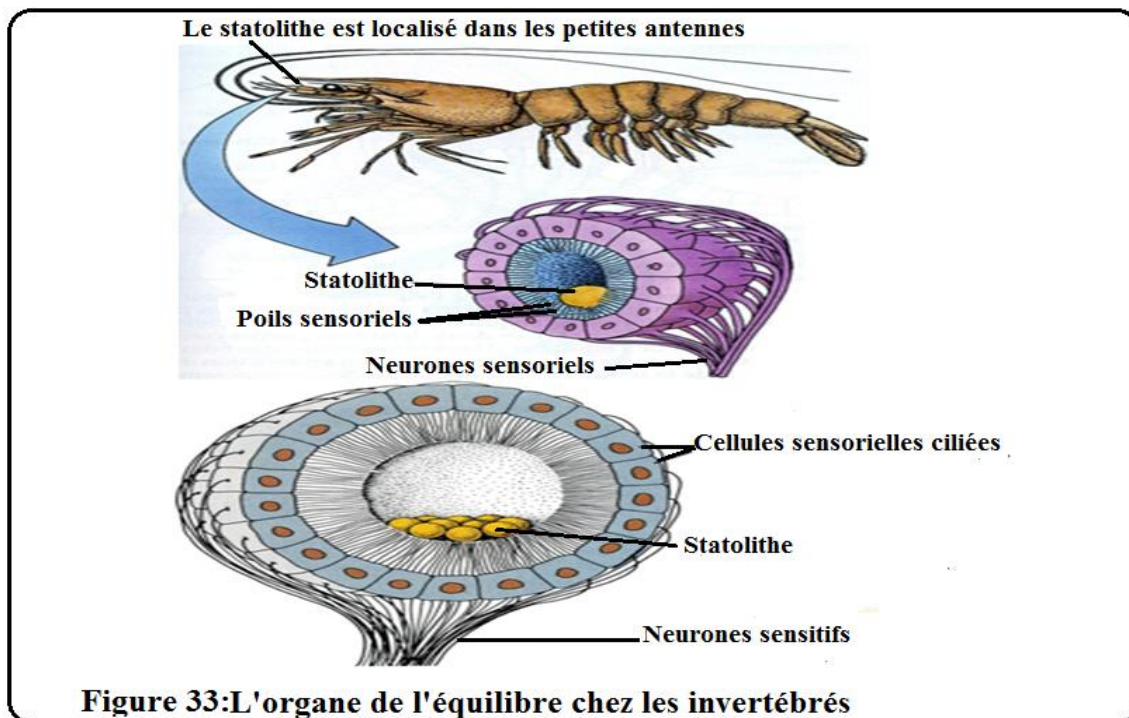
## 2- La Sensibilité Mécanique

### 2-1- Organes Ciliés Chez Les Invertébrés

#### a- Organes De L'équilibre

Chez la plupart des invertébrés, des mécanorécepteurs appelés statocystes jouent un rôle dans l'équilibre et dans la détection de l'accélération. Ce même type de structure se retrouve dans un grand nombre de groupe d'animaux.

Le statocyste consiste en une chambre sphérique recouverte de cellules ciliées dont les stéréocils se projettent dans l'intérieur de la cavité de la chambre. Dans cette chambre on trouve des granules denses (grains de sable ou concrétions calcaires) que l'on appelle statolithes.



La gravité tend à maintenir les statolithes vers le bas de telle façon qu'à tout moment les statolithes stimulent les cellules ciliées les plus basses de la chambre, en fonction de leur position dans l'animal. Chaque cellule décharge au maximum en réponse à une certaine orientation de l'animal et procure ainsi au cerveau des indications sur la position du corps.

Les homards et les écrevisses ont des statocystes à la base de leurs antennules.

#### a- Organes De L'audition

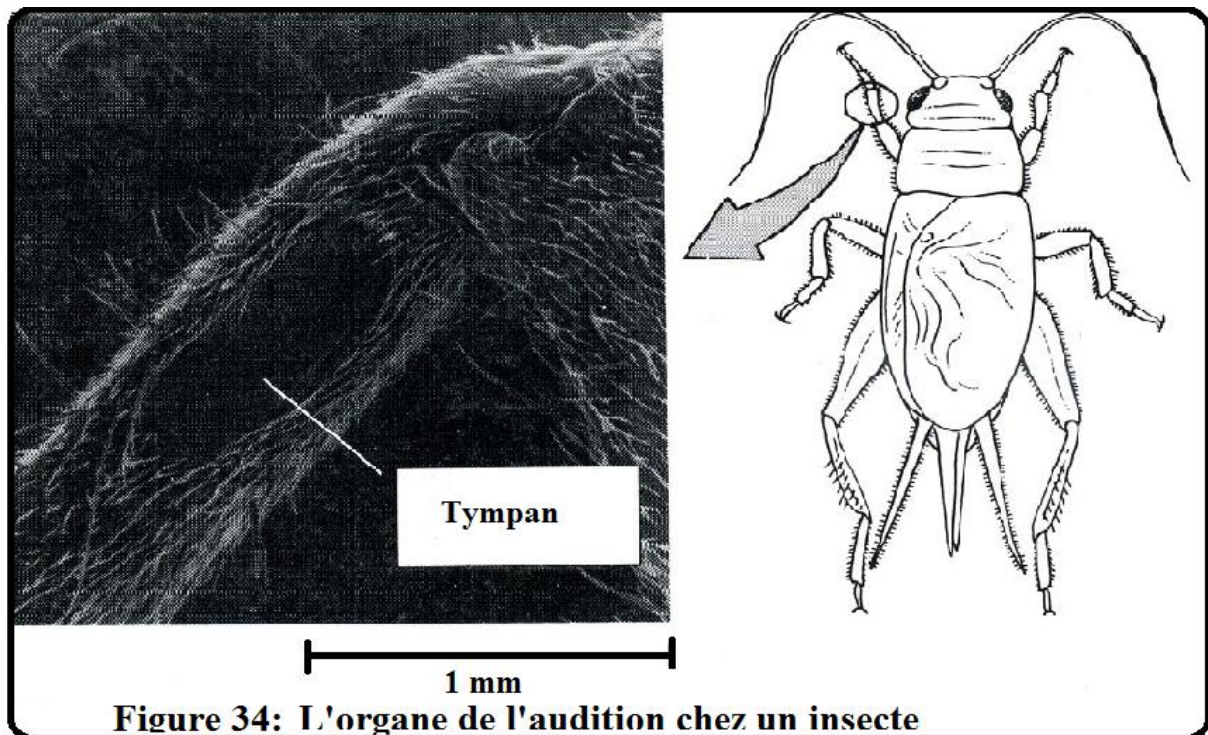
- **Les Poils Sensoriels**

Les sons de basse fréquence peuvent être perçus par des poils sensoriels particuliers (Cerques chez le Grillon, Moustiques, Blattes...). Les poils sensoriels du corps de nombreux insectes vibrent en réponse à des ondes sonores de certaines fréquences selon la rigidité et la longueur des poils. Les poils sont sensibles aux vibrations émises par d'autres animaux. Par exemple les moustiques mâles détectent le bourdonnement produit par le battement des ailes des femelles en vol, grâce aux poils sensoriels fins qui garnissent leurs antennes, ce qui permet aux moustiques de trouver leurs partenaires sexuelles. Autre exemple, les poils vibratiles permettent à certaines chenilles de détecter le bourdonnement des ailes des guêpes, ce qui permet à la chenille d'entendre venir le danger.

Les grillons, possèdent des organes sensoriels parmi les plus performants du règne animal. Localisés sur des appendices abdominaux de l'insecte, ces senseurs sont constitués de plusieurs centaines de poils de longueur variable qui réagissent aux moindres mouvements d'air émis par l'approche de leurs prédateurs, tels que les araignées. Les propriétés morphologiques de cette forêt de poils permettent au grillon à la fois de caractériser le signal émis par le prédateur (notamment en terme de longueur d'onde) et d'évaluer la direction de sa provenance afin d'échapper efficacement au prédateur.

- **Le Tympan**

Les sons de moyenne et haute fréquence sont enregistrés par des organes plus ou moins complexes siégeant sur les pattes des insectes. Un tympan est tendu au-dessus d'une chambre aérienne interne. Il s'agit de l'organe tympanique des Grillons et des sauterelles, situé sur les pattes ou de l'organe tympanique des criquets situé au niveau de l'abdomen. Les ondes sonores font vibrer ce tympan qui stimule les cellules réceptrices fixées à l'intérieur. Ces cellules produisent des influx qui sont transmis au cerveau. L'élément récepteur est l'organe **scolopidial**, il comprend une cellule sensorielle ciliée particulière.

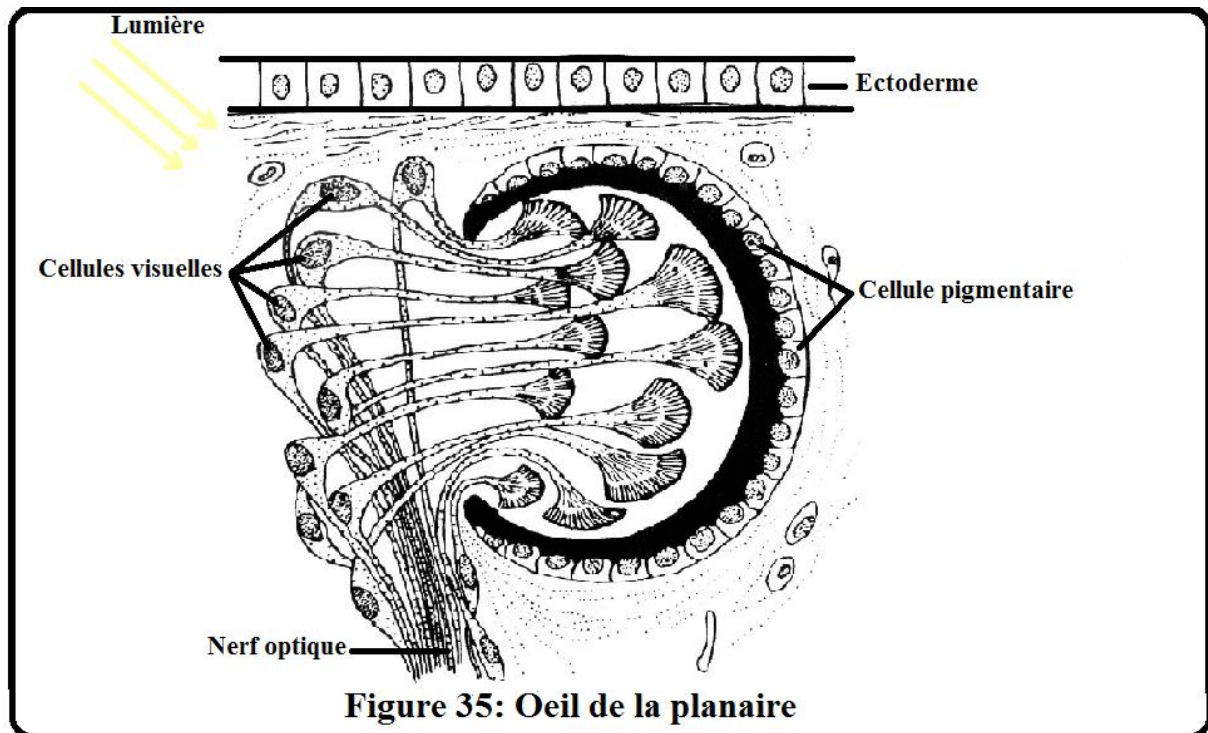


### 3- Vision Chez Les Invertébrés

La plupart des invertébrés peuvent détecter la lumière grâce à des récepteurs pourvus de pigments qui absorbent les ondes lumineuses.

#### Ocelle des Planaires

L'ocelle (petit œil) des **Planaires** constitue l'un des récepteurs visuels les plus simples. Ces cellules photosensibles captent les informations sur l'intensité et la direction de la lumière sans former d'image. La planaire ne voit pas au sens où nous l'entendons. Sur la tête de la planaire se trouvent deux ocelles munis de photorécepteurs, positionnés de part et d'autre de l'axe de symétrie du corps de l'animal, qui envoient des influx nerveux aux ganglions. La paroi de la dépression formée par l'ocelle se compose de cellules pigmentaires de couleur foncée qui arrêtent la lumière et qui cachent les cellules photoréceptrices. Pour pénétrer dans la dépression et stimuler les photorécepteurs, la lumière doit s'infiltrer par une ouverture dépourvue de cellules pigmentaires.



L'ouverture de l'un des ocelles est située vers la gauche et légèrement vers l'avant et celle de l'autre vers la droite et l'avant. La lumière ne peut atteindre les photorécepteurs, que si elle pénètre par l'ouverture de la dépression. Les ganglions comparent la fréquence des influx nerveux issus des deux ocelles et commandent aux muscles de déplacer le corps jusqu'à ce que les sensations provenant des deux côtés soient aussi faibles que possibles. Cette réaction d'orientation permet à la planaire de s'éloigner de la source lumineuse et donc de se dissimuler aux yeux des prédateurs en se cachant dans un endroit sombre ou sous une roche.

### **Œil Composé des Arthropodes**

L'œil composé se retrouve chez les arthropodes (crustacés, insectes, araignées) et chez certains annélides (polychètes). Chaque œil composé est constitué de plusieurs unités optiques appelées ommatidies (facettes de l'œil) dont le nombre peut s'élever jusqu'à plusieurs milliers (800 chez la drosophile, 3000 chez la mouche domestique, 10000 chez la libellule).

### **L'œil simple ou caméculaire**

Constitue le second type d'œil présent chez les invertébrés. On le trouve chez les méduses, les araignées, les polychètes et de nombreux mollusques (seiche, céphalopode). Son mode de fonctionnement ressemble à celui d'un appareil photo.

## 9- Références bibliographiques

- 1- **Fralval A., 2012.** Le système circulatoire, Insectes n°166 - 2012 (3) p. 27-29.
- 2- **Gambini C., 2012.** La morphogenèse gastrovasculaire de la méduse *Aurelia aurita*. Thèse de doctorat en biophysique d'Université Paris; Diderot, 190 p.
- 3- **Gauer M., 2007.** Biologie animale L2S4; basé sur le cours de 2006/2007. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 68 p.
- 4- **Griffond B., Gomot P. et Gomot L., 1992.** Influence de la température sur le déroulement de l'ovogenèse chez l'escargot *Helix aspersa*. *J. Therm. Biol*, 17: 185-190.
- 5- **Guerreschi E., 2013.** *Contribution à l'Appréhension du Système Cardiovasculaire Modélisation et Traitement de Signaux issus de la Macrocirculation et de la Microcirculation sanguines*, thèse de doctorat à l'Université d'Angers, 184 p.
- 6- **Mauchamp B., 1988.** Physiologie - Comportement: La diapause ou comment passer l'hiver dehors quand on est un insecte... Un point complet sur ces étonnants phénomènes d'adaptation physiologique, Paris, 6p.
- 7- **Morin A. et Houseman J., 2002.** Animaux : Structures et fonctions. Université d'Ottawa - Bio 2525, 130 p.
- 8- **Poinsot D., Hervé M., Le Garff B., Maël Ceillier, 2018.** Diversité animale: Histoire, évolution et biologie des Métazoaires, De Boeck Supérieur, Bibliothèque nationale, Paris 447p.
- 9- **Raymond Gilles et Michel Anctil, 2006.** *Physiologie animale; Biologie animale*, De Boeck Supérieur, 675 p.
- 10- **Raccaud-Schoeller, J. 1980.** Les insectes: physiologie, développement. Volume 8 de Maîtrises de biologie, ISSN 0338-9855. Author, Publisher, Masson, 296 p.
- 11- **Raven P. H.; Mason K. A., Johnson G. B., Losos J. B., Singer S. R., 2017.** *Biologie*, Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur, 4e éd., trad. de la 11<sup>ème</sup> ed. américaine, 1282p.

## Sites internet

- 1- <https://www.vigienature-ecole.fr> [consulté le 30 novembre 2018].
- 2- <http://www.mer-littoral.org> [consulté le 01 décembre 2018].
- 3- <http://www.myrmecofourmis.com> [consulté le 02 décembre 2018].
- 4- <https://www.zoologie-uclouvain.be/index.htm> [consulté le 09 décembre 2018].
- 5- <https://eleau.org/faune-et-flore/le-poulpe-commun-de-recif> [consulté le 21 janvier 2021].
- 6- <https://www.pageconcept.org/invertebres/echinos/starfish/etoile.jpg> [consulté le 23 avril 2019].
- 7- <http://www.mer-littoral.org/02/poriferes-2.php> [consulté le 03 novembre 2019].