

■ Les Panarthropodes

FICHE RÉCAPITULATIVE

- Métazoaires, triploblastiques, coelomates
- Symétrie bilatérale
- Protostomiens
- Métamérisés
- Squelette ectodermique chitineux, articulé
- Tube digestif complet formé de régions spécialisées
- Système circulatoire ouvert
- Système d'excrétion différencié
- Système nerveux formé de trois ganglions fusionnés et d'une chaîne nerveuse ventrale
- Marins, dulçaquicoles, ou terrestres
- Libres, sessiles, endo - ou ectoparasites
- Très grande diversité de modes de vie

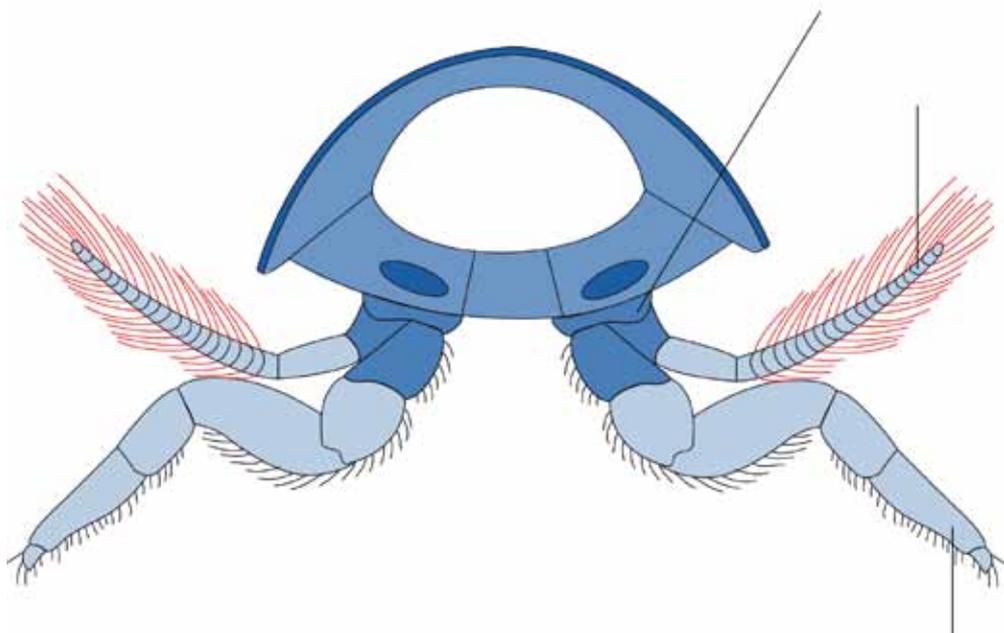
1. Présentation du groupe



Art 1.1. Un Panarthropode du Cambrien : *Marella spendens* (copyright JB Caron)

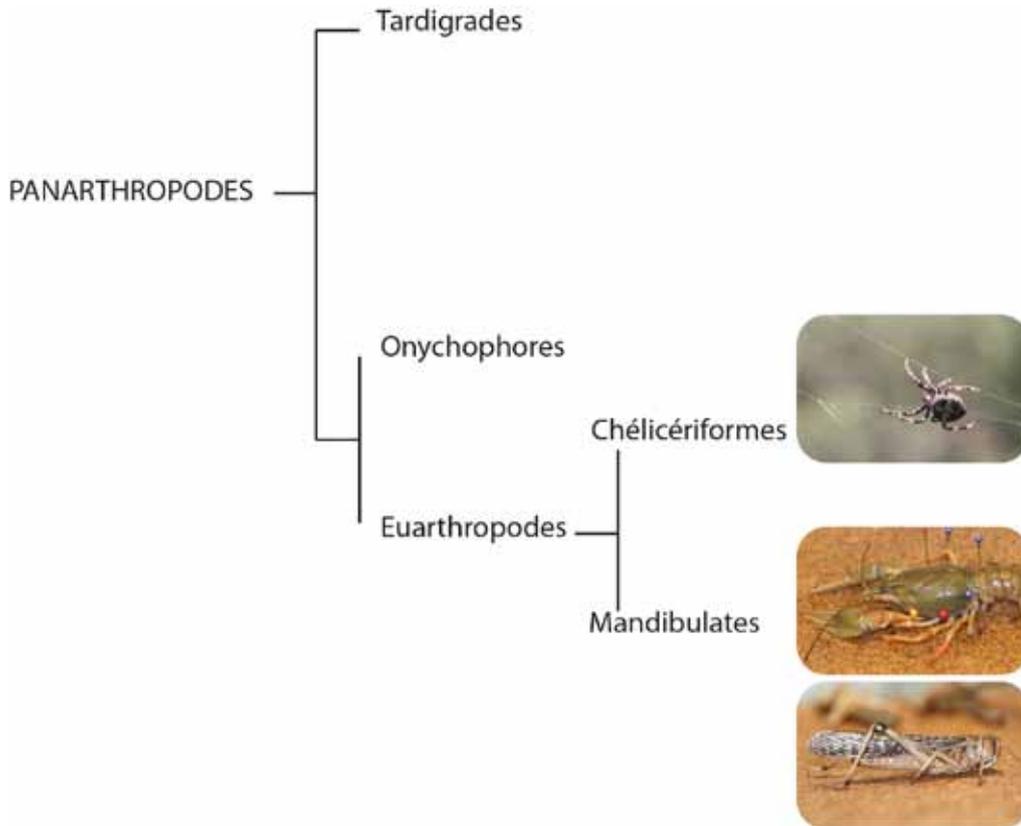
Les Panarthropodes constituent le groupe animal qui comprend le plus grand nombre d'espèces décrites (environ 1 million), cela représente 85 % de la biodiversité connue. Ils dominent la terre depuis plus de 525 millions d'années à la suite de l'explosion des formes de vie au Cambrien. Ils appartiennent aux Ecdyzozoaires. Leur tégument s'est épaissi par l'incorporation de protéines associées à un polysaccharide souple et résistant : la chitine. Cette modification fondamentale crée un exosquelette rigide, la cuticule, qui conditionne toute l'organisation interne de l'animal et l'oblige à passer par des mues (ecdysis) pour permettre sa croissance. Les mouvements seront rendus possibles par la division de la cuticule en plaques séparées. Panarthropode signifie littéralement « pieds articulés ».

COUPE TRANSVERSALE



Art 1.2. Coupe transversale d'un Panarthropode

Les Panarthropodes sont fondamentalement des animaux segmentés. Le modèle de base d'un segment peut-être déduit du schéma de la figure suivante. Chaque segment porte une paire d'appendices biramés, c'est-à-dire composés d'un rameau branchial et d'un rameau locomoteur. Au cours de l'évolution, ces segments vont subir une spécialisation régionalisée selon deux processus : la perte de fonction de l'un des deux rameaux de l'appendice, et la fusion de certains segments. Ainsi, la tête est le résultat de la fusion d'une série de segments dont les appendices locomoteurs se sont transformés en appendices sensoriels ou en pièces buccales.

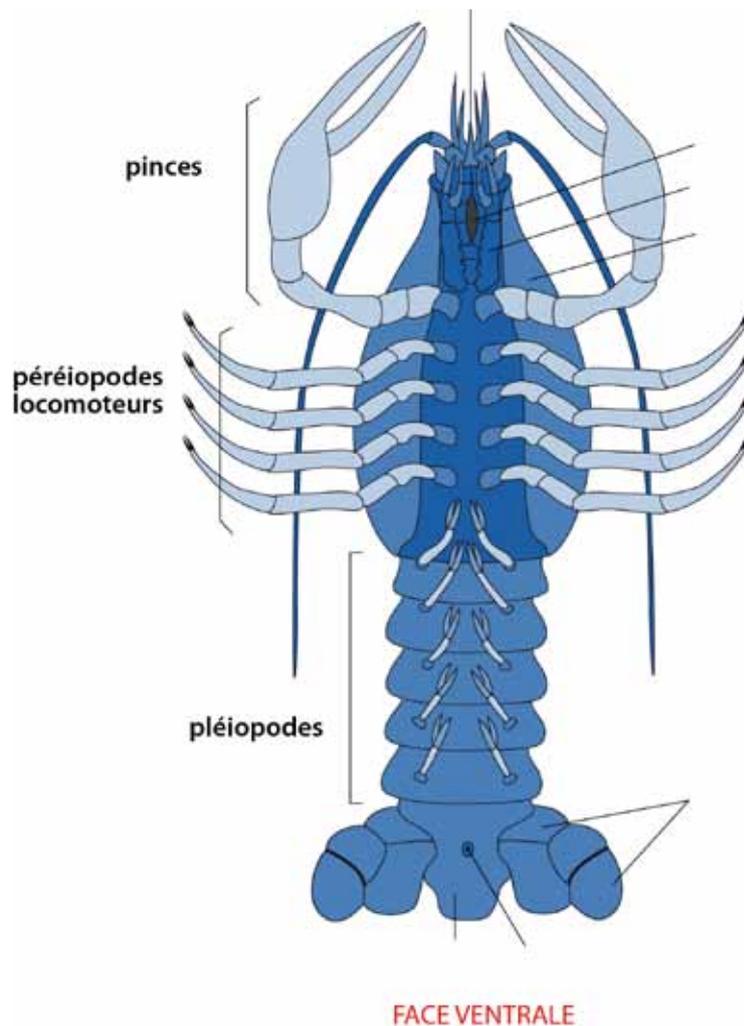


Art1.3 Relations évolutives des Panarthropodes

Les Panarthropodes se divisent en trois clades : Les Tardigrades, les Onychophores et les Euarthropodes. Les Onychophores et les Euarthropodes partagent un système circulatoire ouvert avec un cœur segmenté présentant des ostia, une hémocyanine semblable, une musculature des membres segmentée, et des néphridies. Les Tardigrades semblent plus éloignés sur le plan phylétique. Nous nous focaliserons principalement sur les Euarthropodes eux-mêmes divisés en Chélicériformes et en Mandibulates. Les organismes modèles choisis sont l'écrevisse (Pancrustacé Malacostracé), le criquet pèlerin (Pancrustacé Hexapode) et l'Épeire diadème (Chélicérate, Arachnide).

2. Exemples-types

2.1. L'ECREVISSE *ASTACUS ASTACUS* (MALACOSTRACÉ)

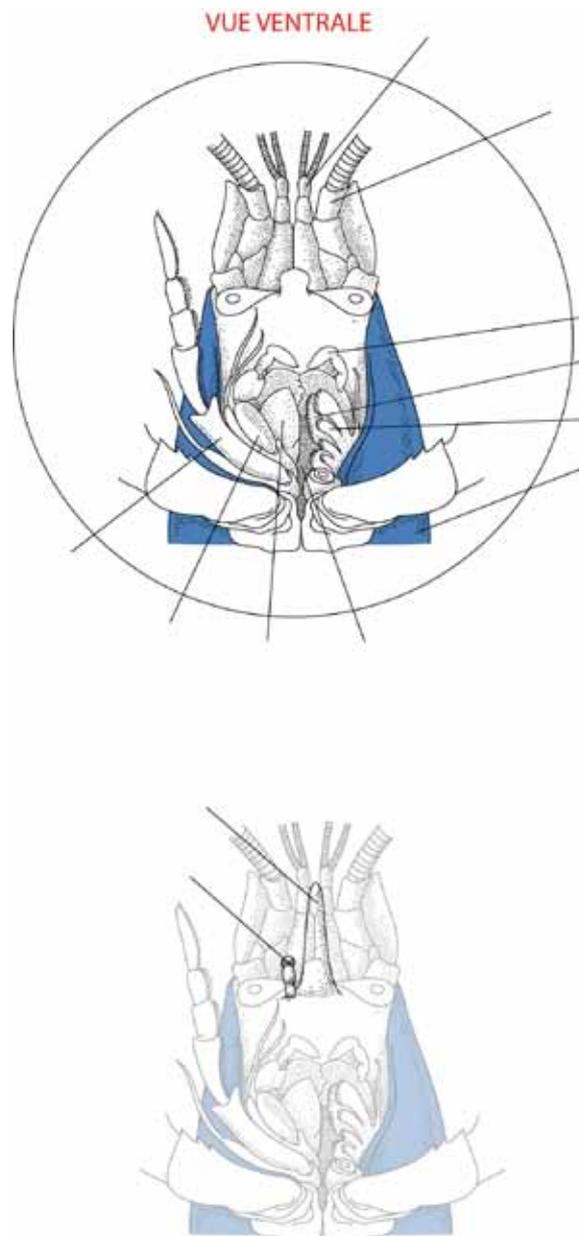


Art 2.3. Vue schématique ventrale d'un Malacostracé

2.1.1. Examen externe

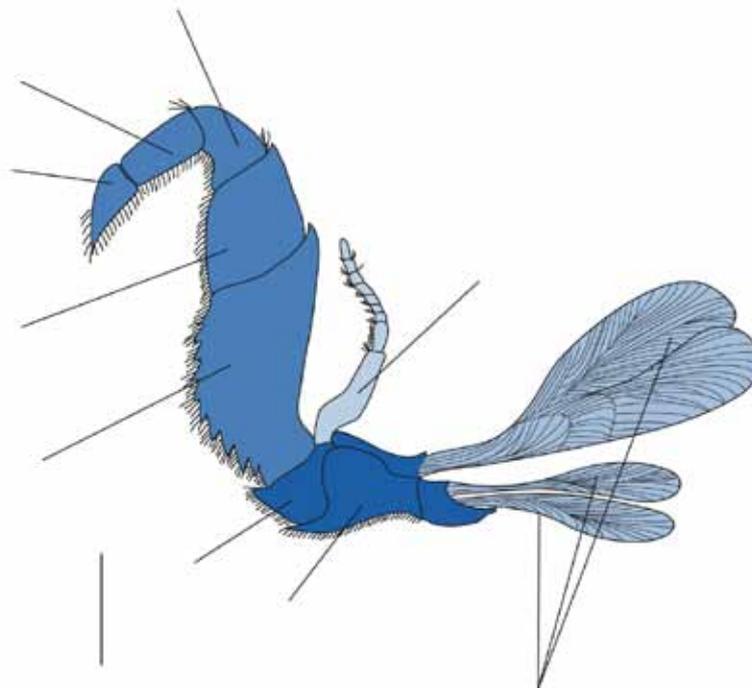
Astacus, l'Écrevisse vit dans les rivières bien oxygénées et y joue un rôle de prédateur.

En général, il y a 20 paires d'appendices, plus un petit rostre à l'avant (formé par l'acron) et une plaque impaire au bout de l'abdomen formant le telson. De part et d'autre du telson, la dernière paire d'appendices abdominaux est transformée en *uropodes* servant à la nage. Les 5 paires qui précèdent s'appellent *pléiopodes*, sont peu développées et ont une fonction sexuelle. Plus en avant, et articulées au thorax, les 8 paires d'appendices se dénomment *péréiopodes*. Parmi ceux-ci, 5 paires de grandes pattes sont vouées à la locomotion. En se rapprochant de la partie antérieure du corps, les deux paires d'appendices prennent des fonctions préhensiles: la pince de la première paire d'appendices est puissante. En avant encore, 3 paires de pattes-mâchoires ou *gnathopodes*, plus petites, sont affectées à la mastication. Sur le schéma n'est visible que la dernière paire des gnathopodes. Ils recouvrent les deux autres paires.



Art 2.4. Pièces buccales et organes sensoriels de l'écrevisse

Détaillons les pièces buccales. Un gnathopode de la première paire est représenté en rose, de même que les paires de maxilles, et la paire de mandibules qui les précèdent. Situés en avant de la cavité buccale, on trouve les appendices sensoriels: 2 paires d'antennes (une longue et une courte), et une paire d'yeux portés par les pédoncules situés de part et d'autre du rostre, dans une échancrure de la carapace. L'œil, plus dorsal que les antennes, a été dégagé à gauche sur le dessin. Ces appendices apparaissent effectivement fort variés. Bâti sur le même plan fondamental? Ce n'est guère évident à première vue; pourtant, si! La structure de base dont ils dérivent est représentée de façon satisfaisante par la troisième paire de gnathopodes que vous découvrirez dans le dessin suivant.

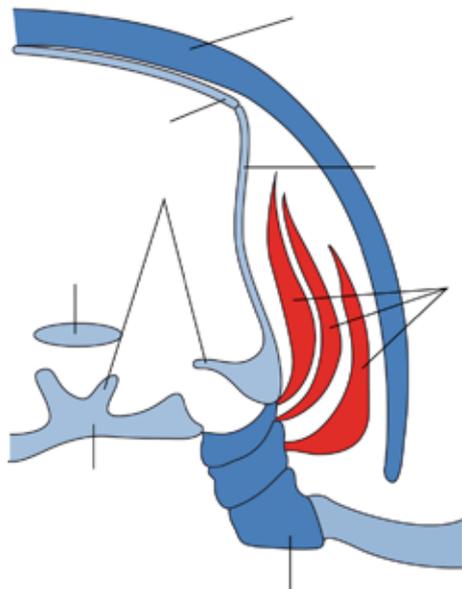


Art 2.5. Appendice biramé d'*A. astacus*

C'est un appendice *biramé*. Une partie basale, le *protopodite* porte 2 rames terminales: l'*endopodite* ou rame interne, et l'*exopodite* ou rame externe. Le protopodite porte des branchies et correspondent au rameau branchial. Au cours de l'évolution des Crustacés, des expansions lamellaires plus ou moins complexes ont garni l'un ou l'autre segment du protopodite, et ont servi à des fonctions diverses: aider à la mastication, à la nage, au transport des œufs. A ces expansions, on a donné le nom général d'*épipodites*. Le basis du protopodite porte les deux rames. La rame externe, ou *exopodite* comporte un segment basal et un distal constitué de nombreux articles. Ce plan de base, illustré avec les troisièmes gnathopodes d'*Astacus*, varie presque à l'infini chez les Crustacés. Il est déjà très modifié sur les autres appendices de l'Ecrevisse, en fonction du rôle qu'ils ont à remplir.

COUPES TRANSVERSALES

①
Thorax



②
Abdomen



Art 2.6. Coupes transversales d'*A. astacus* au niveau du thorax et de l'abdomen. La partie gauche représente une demi-coupe transversale dans un segment abdominal; la partie droite: une demi-coupe passant par la carapace thoracique.

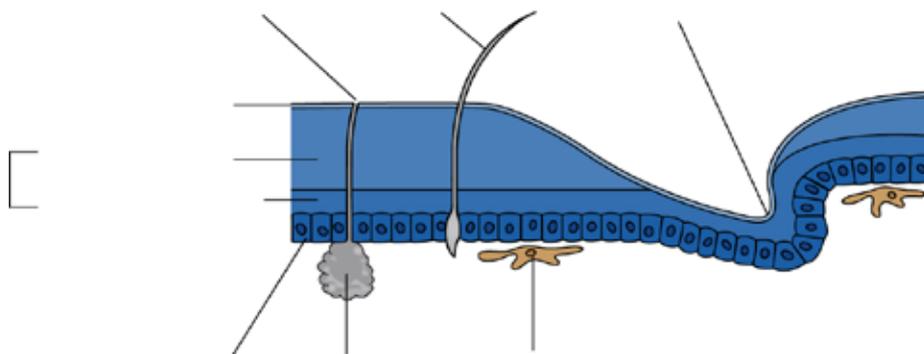
2.1.2. Examen interne

2.1.2.1. TÉGUMENT

Revenons à la cuticule protégeant le corps, pour fixer un peu plus de ce vocabulaire complexe. Chaque segment de l'Ecrevisse est muni de 4 plaques : une tergite dorsale, une sternite ventrale, et 2 pleurites latérales, sur lesquelles sont insérées les appendices. La carapace déborde latéralement largement du corps formant une chambre branchiale ouverte vers le bas. Ainsi cette carapace ménage un espace entre sa face interne et le pleurite, dans lequel sont déployées les branchies délicates. Les mouvements sont possibles puisque cette cuticule est disposée en plaques séparées. Les plaques sont régulièrement disposées à chaque segment, comme dans la région abdominale, et les plaques d'un segment sont jointes à celles du segment suivant par une membrane articulaire, c'est-à-dire une zone où la cuticule reste mince et flexible. Cette disposition régulière disparaît fréquemment au cours de l'évolution, via des fusions ou de subdivisions secondaires. Comme l'exosquelette du corps, celui des appendices est divisé en sections tubulaires réunies les unes aux autres par des membranes articulaires; il y a donc une articulation à chaque jonction. Ces dispositifs permettent aux sections des appendices, comme aux segments du corps, de se mouvoir l'un par rapport à l'autre.

En plus de l'exosquelette, un « endosquelette » s'est parfois développé. Il s'agit d'invaginations de la cuticule, produisant des projections internes ou apodèmes. En outre, des calcifications de tissus internes forment des plaques libres. Si vous avez mangé des Ecrevisses ou autres Crustacés, vous avez sans doute remarqué, en arrachant un appendice, que vous entraîniez une fine lame plate, assez longue, qui dans la profondeur des muscles du thorax ou de l'abdomen. La présence de l'endosquelette, d'apodèmes et de plaques permet l'insertion des muscles.

TÉGUMENT



Art 2.7. Coupe dans le tégument d'*A. astacus*

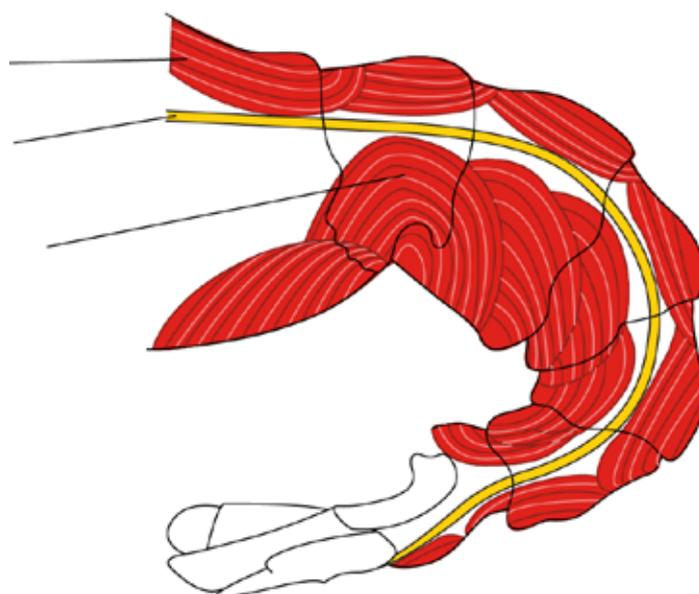
L'exosquelette (à part les plaques internes) est sécrété par une couche de cellules épidermiques. Il se compose d'une épicuticule externe et d'une procuticule beaucoup plus épaisse. L'épicuticule est constituée de protéines. La procuticule se divise en exocuticule externe et endocuticule interne. Ces couches contiennent des protéines et de la chitine, associées pour former des glycoprotéines complexes. L'exocuticule est absente des membranes articulaires, ainsi que le long de lignes de moindre résistance, où l'exosquelette craquera lors de la mue. Chez les Crustacés comme l'Ecrevisse, la procuticule est imprégnée de phosphate et de carbonate de calcium.

Aux endroits amincis, la cuticule de l'Ecrevisse est perméable aux gaz et à l'eau. Elle est aussi percée de fins canalicules par lesquels transitent les sécrétions des cellules glandulaires épidermiques.

Les différentes parties de la cuticule sont produites par les cellules épidermiques et sont donc des dérivés ectodermiques.

L'exosquelette combine des avantages pour l'activité locomotrice et pour la protection, mais en revanche, il pose des problèmes à l'animal en terme de croissance. La solution, c'est l'évacuation périodique du vieil exosquelette trop étroit, à la mue appelée ecdysis. La photo suivante vous montre un exosquelette abandonné, on l'appelle exuvie. Avant d'ôter son vieil habit, l'Ecrevisse se prépare. Les cellules épidermiques se détachent de l'exosquelette et sécrètent une nouvelle épicuticule. Puis elles sécrètent des enzymes qui traversent la nouvelle épicuticule et vont éroder la vieille endocuticule, en respectant les attaches musculaires et nerveuses, si bien que l'animal peut continuer à se mouvoir. Après la digestion de l'endocuticule, l'épiderme sécrète une nouvelle procuticule. Le vieux squelette craque maintenant le long de certaines lignes prédéterminées, et l'Ecrevisse s'en extirpe. Le nouvel exosquelette est encore mou, et tout fripé. L'Ecrevisse s'y met à l'aise, et le minéralise en utilisant une réserve de sels de calcium qu'elle s'était constituée dans l'estomac.

ABDOMEN

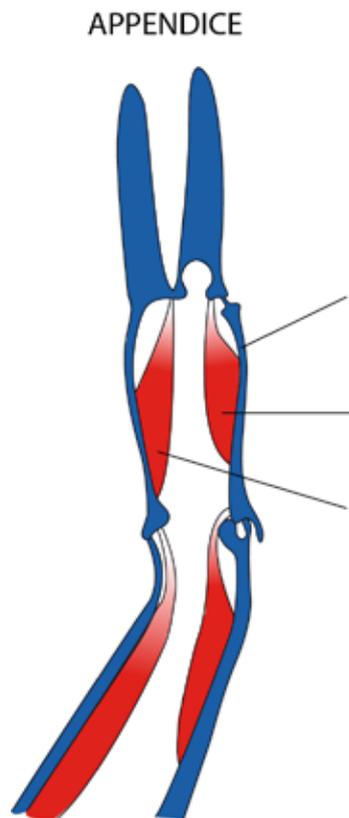


Art 2.8. Muscles de l'abdomen d'*A. astacus*

2.1.2.2. SYSTÈME LOCOMOTEUR

Les mouvements de l'Ecrevisse consistent en flexions entre les plaques de l'exosquelette. Les muscles s'attachent à la surface interne de la procuticule par des fibrilles. Les flexions et les extensions entre les plaques proviennent de la contraction de ces muscles.

Chez l'Ecrevisse armée d'un céphalothorax rigide, les mouvements se réduisent à ceux de l'abdomen et des appendices. Prenons l'abdomen, par exemple: le groupe de muscles extenseur est dorsal, et le groupe de muscles fléchisseurs est ventral; c'est lui qui fait se replier violemment la partie postérieure de l'abdomen sous le corps lorsque l'Ecrevisse veut s'échapper, à reculons.

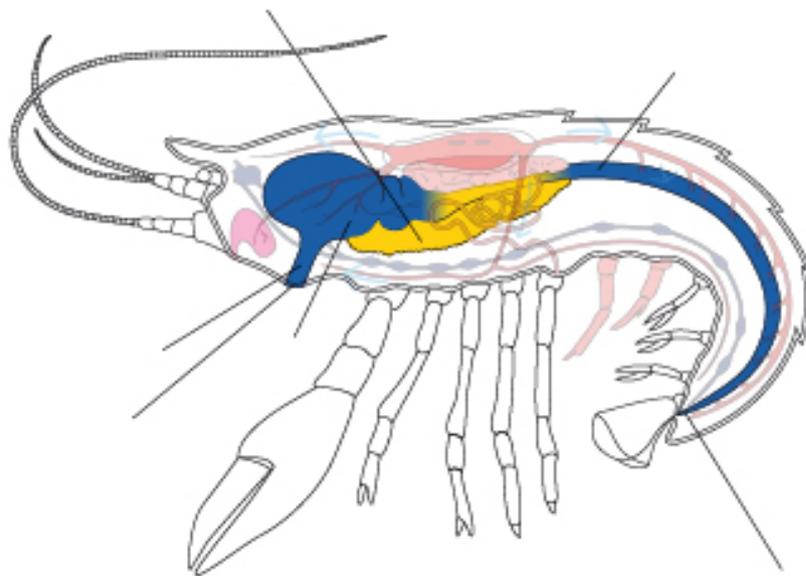


Art 2.9. Muscles d'un appendice d'*A. astacus*

Cette action combinée du squelette et de la musculature est fort comparable à celle des Vertébrés; la différence principale c'est que les muscles des Panarthropodes sont attachés à la surface interne de l'exosquelette tandis que les muscles des Vertébrés sont attachés à la surface externe d'un endosquelette. Pour certains mouvements, des appendices notamment, l'exosquelette devient d'un emploi difficile. Les apodèmes et les plaques rigides internes facilitent alors des insertions musculaires plus efficaces.

L'entièreté de la musculature de l'Ecrevisse, comme celle des autres Panarthropodes, est constituée de cellules musculaires striées, même autour des organes internes. On ne trouve aucune cellule musculaire lisse.

2.1.2.3. SYSTÈME DIGESTIF

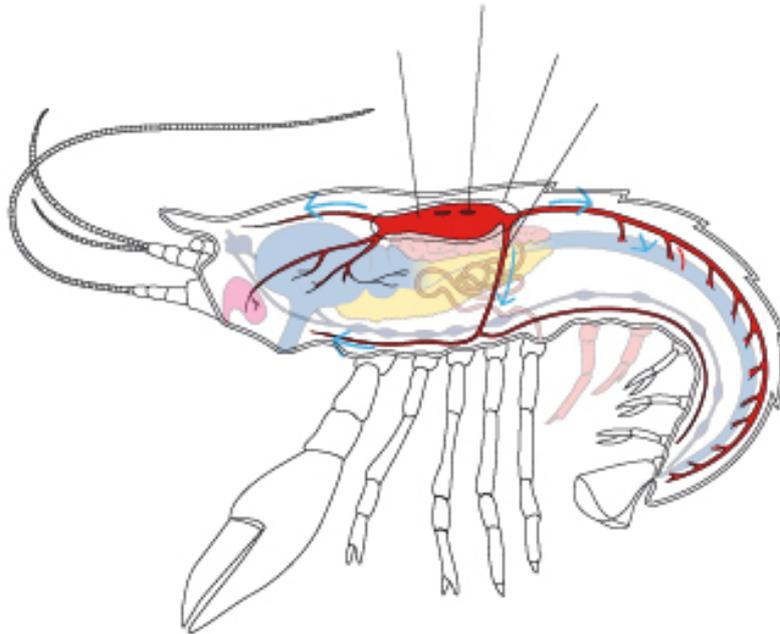


Art 2.10. Système digestif d'*A. astacus*

Examinons le processus de nutrition au travers du schéma suivant. Par ses pinces, l'Écrevisse a saisi sa pitance. C'est un carnivore très peu attentif à la fraîcheur de sa nourriture. Elle porte un morceau à sa bouche, fendue longitudinalement et entourée d'un appareillage masticateur complexe: la paire de mandibules, les 2 paires de maxilles et, comme si c'était encore insuffisant, et les 3 paires de gnathopodes. L'œsophage, très court et presque vertical, est la première portion du tube digestif.

Le tube digestif présente des régions stomodéale (antérieure) et proctodéale (postérieure) très longues, colorées en bleu sur le dessin. Ces parties sont pourvues d'une cuticule et sont donc d'origine ectodermique. En cela, le tube digestif des Panarthropodes diffère de celui de la plupart des autres animaux. Seule la partie moyenne, ou mésentéron possède un épithélium d'origine endodermique, ici en jaune. Vous verrez le détail du fonctionnement des différentes parties du système digestif de l'écrevisse en dissection.

2.1.2.4. SYSTÈME CIRCULATOIRE



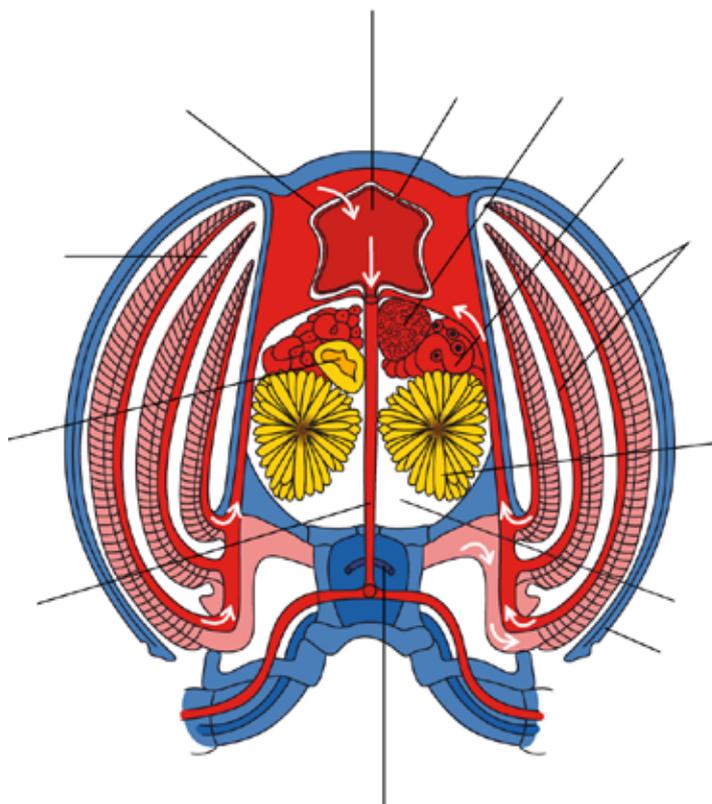
Art 2.11. Le système circulatoire d'*A. astacus*

Les nutriments absorbés par le mésentéron passent dans le sang. Nous allons examiner maintenant le système circulatoire. Chez les Panarthropodes, les *métamères* ne sont pas divisés par des septa. Il en résulte une large cavité centrale appelée hémocœle où baignent les organes. Il s'agit d'espaces inter-tissulaires remplis de liquide, que l'on appelle *hémolymphe*, puisqu'il constitue à la fois le sang (hémolymphe) et la lymphe qui baigne les espaces intercellulaires. Le cœlome métamérique analogue à celui des Annélides n'est représenté que par les cavités des gonades, et, chez l'Écrevisse, par une portion des organes excréteurs. Cette réduction est liée au mode de locomotion: le squelette hydrostatique a fait place à un solide squelette externe.

Le système vasculaire sanguin est ouvert. Le cœur et le vaisseau dorsal assurent la propulsion du sang. Le cœur est une chambre musculeuse, percée de paires d'orifices latéraux, dénommés ostioles. Les ostioles permettent à l'hémolymphe de pénétrer dans le cœur à partir du grand sinus qui l'entoure, et qui porte le nom de *cavité péricardique*.

L'hémolymphe est expulsée du cœur par sa contraction. Grâce à un système de valves anti-retour, l'hémolymphe est propulsée dans des artères; vers l'avant dans les artères dorsales antérieures, et vers l'arrière dans l'artère dorsale postérieure. Elle parvient aussi dans l'artère ventrale via l'artère sternale. Dans certaines régions du corps, les artères se prolongent par des vaisseaux, par exemple dans les appendices thoraciques et les branchies. Les artères peuvent aussi se prolonger par des capillaires, par exemple autour du mésentéron, où l'hémolymphe se charge de matières nutritives, ou autour du proctodeum. De toute manière, l'hémolymphe finit par se répandre dans les sinus qui baignent les organes. Elle les nourrit et les oxygène. Elle revient ensuite au cœur par les ostia.

COUPE TRANSVERSALE au niveau du thorax



Art 2.12. Coupe transversale au niveau du thorax

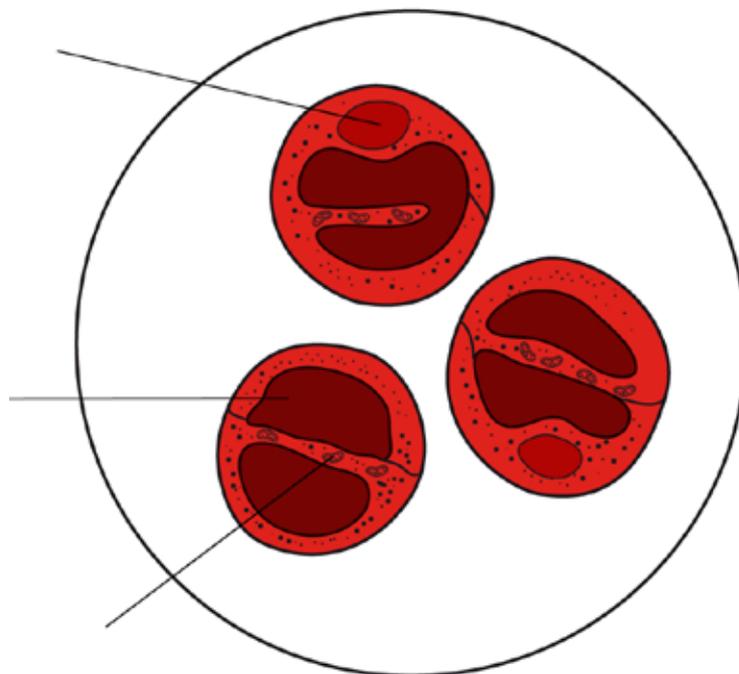
2.1.2.5. SYSTÈME RESPIRATOIRE

Le système respiratoire est intimement lié au système circulatoire comme le montre cette coupe transversale du thorax (figure 2.19). L'hémolymphe en provenance des branchies rejoint la cavité péricardique, et rentre dans le cœur par les ostioles. Les flèches indiquent le sens de la circulation.

Les branchies sont attachées aux appendices, et protégées par une expansion de la cuticule. Donc, de part et d'autre du corps, se délimite une cavité branchiale ouverte vers le bas, et dans laquelle l'eau circule constamment. Les branchies plumeuses sont constituées d'une touffe de minces filaments portés par une sorte d'axe. La paroi des filaments est épidermique et revêtue d'une mince cuticule perméable.

L'hémolymphe en provenance des sinus circule dans ces filaments. L'hémolymphe contient des pigments respiratoires en solution. Chez l'Écrevisse, ce pigment est l'hémocyanine, gros polymère protéique doté de groupes hémiques comme l'hémoglobine, mais où le fer est remplacé par du cuivre. L'hémocyanine fixe l'oxygène, comme l'hémoglobine. En passant par les filaments branchiaux, l'hémolymphe se chargera donc d'oxygène en provenance de l'eau ambiante. D'autre part, l'hémolymphe se déchargera du CO_2 qu'elle véhicule sous

COUPE TRANSVERSALE



Art 2.13 : Coupe transversale dans les filaments branchiaux d'*A. astacus*

EXERCICE

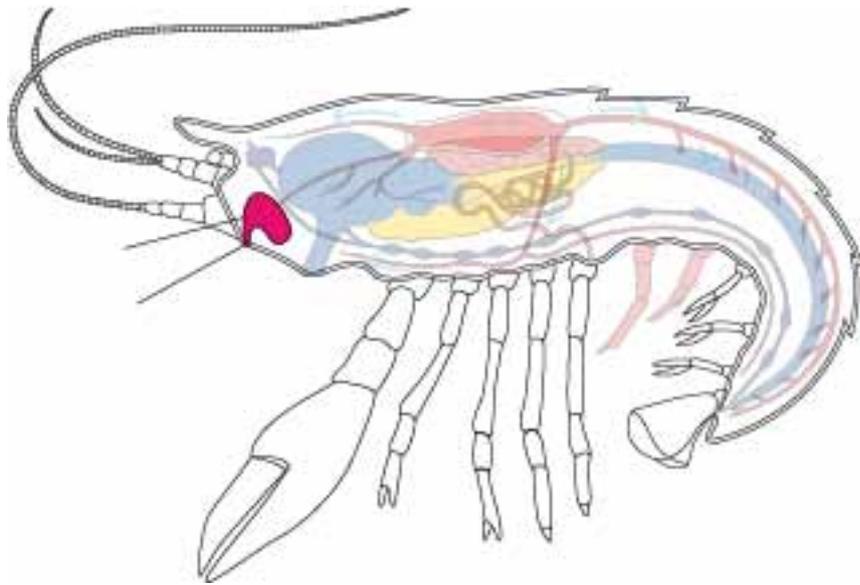
Un petit problème simple de morphologie fonctionnelle : si l'on opère une coupe transversale dans les filaments branchiaux d'*A. astacus*, on constate, dans la plupart des sections, la présence d'une cloison disposée comme le montre ce schéma. Pourquoi ?



Art 2.14. Les branchies de l'écrevisse après dissection

forme d'ions dicarbonates.

2.1.2.6. SYSTÈME EXCRÉTEUR



Art. 2.15. Le système excréteur de l'écrevisse.

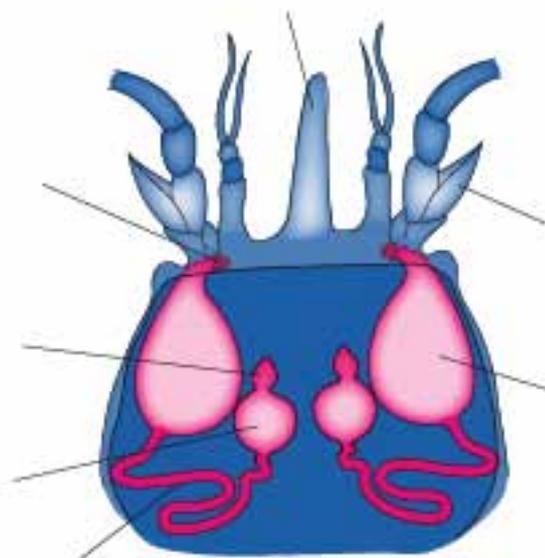
Osmorégulation et excrétion : chez la plupart des animaux, ces deux fonctions sont couplées. Les branchies, visibles ici sur la photo, ont d'autres fonctions outre la respiration: elles participent activement à l'excrétion d'un autre déchet du catabolisme, l'ammoniaque, qui est effectivement le principal déchet azoté chez les Crustacés. Les déchets azotés et le CO₂ ne sont pas les seuls produits du catabolisme à excréter. Des molécules ou des particules plus volumineuses peuvent s'accumuler dans des cellules spéciales, appelées néphrocytes, circulant dans l'hémolymphe, puis se rassemblant à certains endroits du corps, notamment à la base des branchies et des appendices, qui les excrètent.

Les branchies interviennent aussi dans l'osmorégulation. Chez l'Ecrevisse, qui vit en eau douce, elles absorbent activement le peu de sels que l'animal peut pomper dans son milieu ambiant.

EXERCICE

Pouvez-vous expliciter quelle serait le rôle des branchies dans la régulation osmotique chez un Crustacé marin?

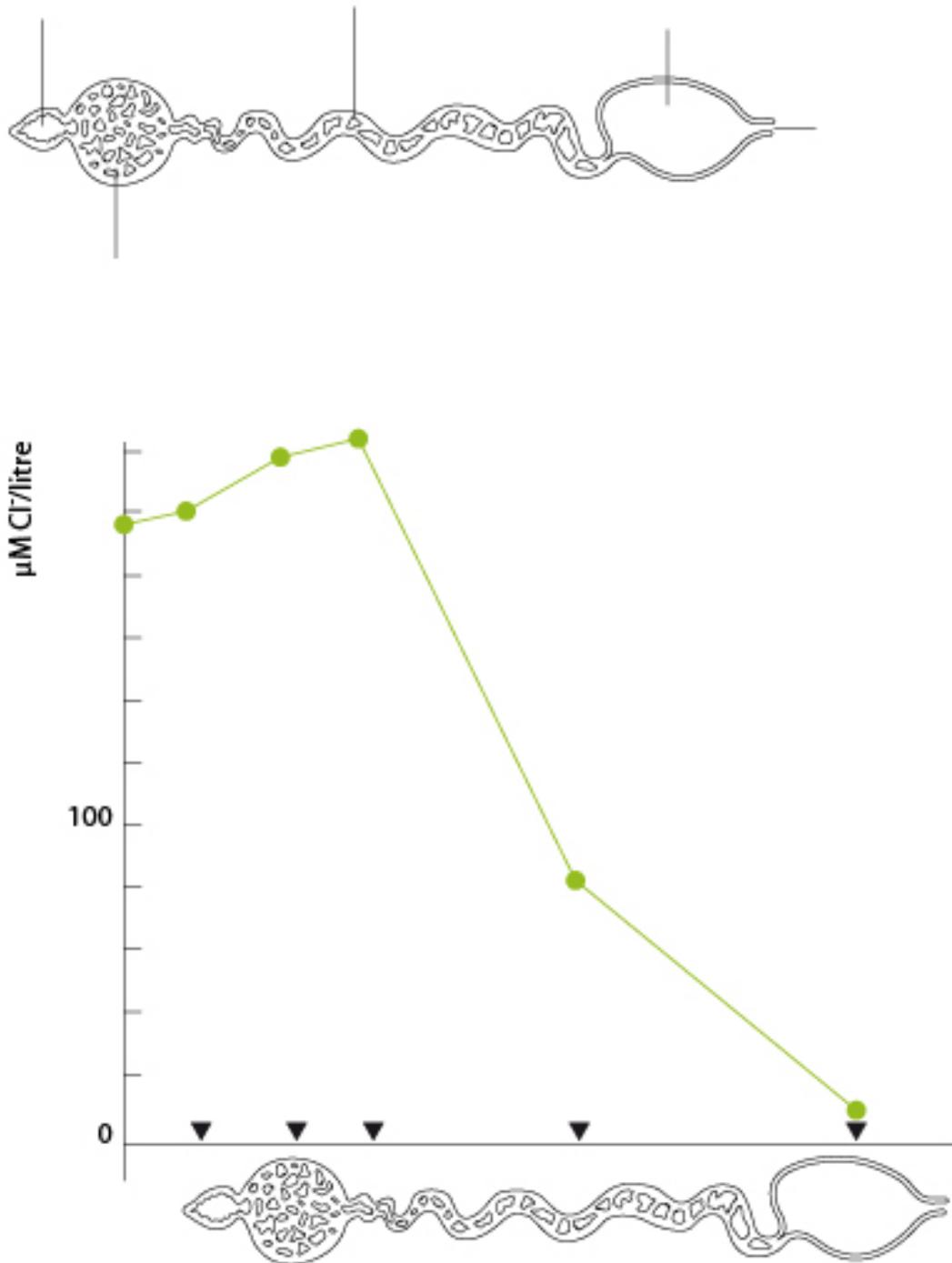
GLANDES ANTENNAIRES



VUE VENTRALE

Art 2.16. Les glandes antennaires de l'écrevisse

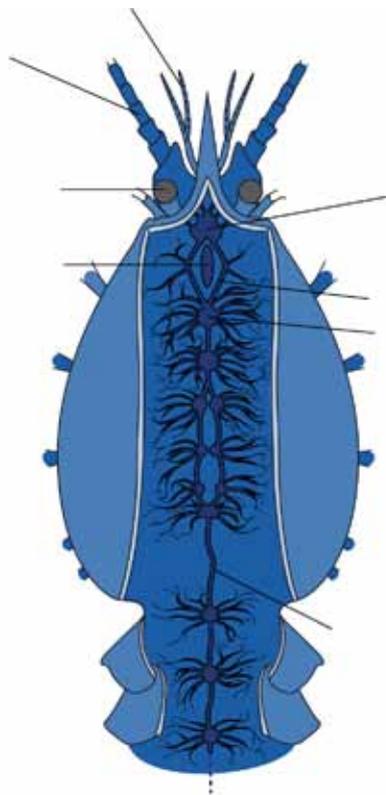
Un autre organe est voué à l'osmorégulation et à l'excrétion chez l'Ecrevisse: les glandes antennaires. Ces deux glandes sont localisées dans la partie antérieure du céphalothorax; elles filtrent des déchets de l'hémolymphe circulant dans les sinus proches, puis évacuent les déchets par deux orifices excréteurs, situés à la base des antennes (d'où le nom: glandes antennaires). Si ces glandes étaient seules à intervenir dans l'excrétion, au vu de leur situation et des particularités du système circulatoire, le résultat serait inefficace. Cependant, elles travaillent de concert avec les branchies et les néphrocytes.



Art 2.17. Ultrafiltration par la glande antennaire

Chaque glande antennaire comprend au bout aveugle un petit sac dérivé du coelome, le «coelomosac». Un dispositif d'ultrafiltration somme toute assez comparable à l'ensemble lame basale-podocytes du rein des Mammifères, constitue sa paroi. (Si vous avez oublié de quoi il s'agit, allez revoir votre cours de première année!). L'urine filtrée se retrouve dans la cavité du coelomosac, et sera modifiée en passant dans la portion suivante de la glande antennaire: le labyrinthe, puis le tubule. L'urine définitive est stockée dans la vessie et évacuée périodiquement par le pore excréteur.

2.1.2.7. SYSTÈME NERVEUX

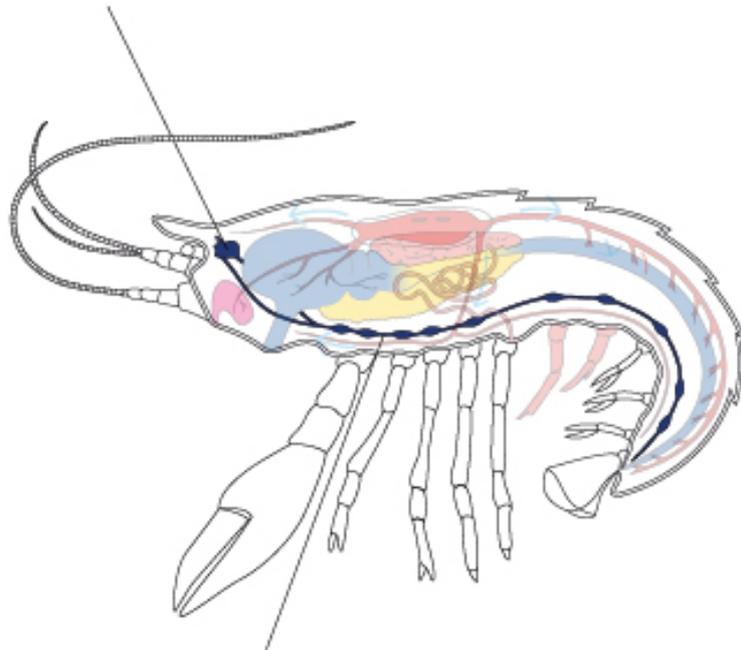


FACE DORSALE

Art. 2.18. Le système nerveux de l'écrevisse en vue dorsale

Les activités de l'Écrevisse sont coordonnées par le système nerveux et par le système endocrinien. Comme chez les autres Panarthropodes, la céphalisation est importante: l'augmentation de taille du cerveau est corrélée à des organes des sens bien développés, tels les yeux et les antennes, et le comportement est relativement complexe.

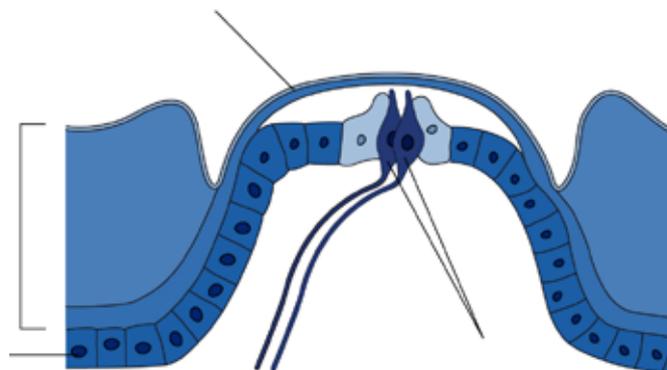
Le cerveau est formé de trois masses fusionnées, chacune gardant des traces d'une origine paire: un protocerebrum antérieur, un deutocerebrum médian et un tritocerebrum postérieur.



Art 2.19. Le système nerveux en vue latérale.

Une particularité : la chaîne nerveuse est parcourue d'axones géants qui conduisent très rapidement l'influx nerveux, comme chez les Annélides; ils fonctionnent un peu comme ces derniers: une décharge stimule violemment la contraction de la musculature abdominale ventrale en cas de danger, et l'Ecrevisse replie son abdomen et s'enfuit à reculons.

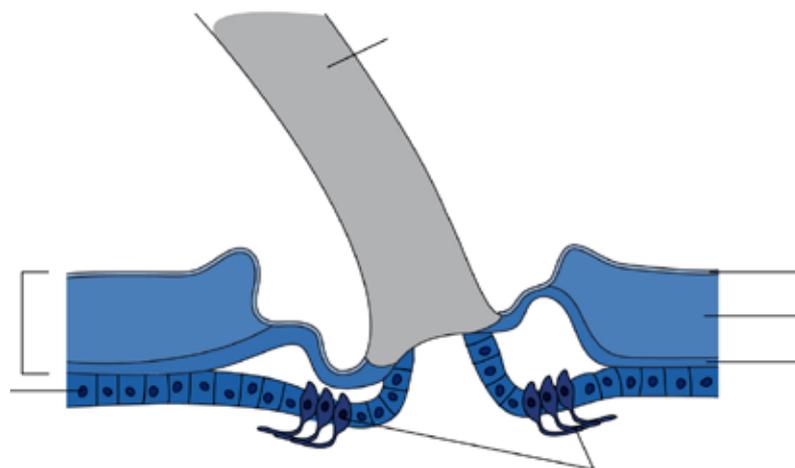
RÉCEPTEUR DE TENSION ET DE VIBRATIONS



Art 2.20. Organisation des récepteurs sensoriels à la surface de la cuticule.

L'exosquelette est très avantageux pour la protection et la locomotion, mais par contre, il limite la perception sensorielle en formant une barrière à la détection des stimuli extérieurs. Les Panarthropodes ont résolu ce problème de manière souvent très originale et très performante. Pour ce faire, les récepteurs sensoriels sont associés à des modifications locales de l'exosquelette chitineux. Des interruptions de l'exosquelette sont couvertes d'une fine membrane, sous laquelle sont connectés des récepteurs sensoriels. Ces organes détectent les vibrations de la membrane, ou d'autres forces qui changent la tension du squelette.

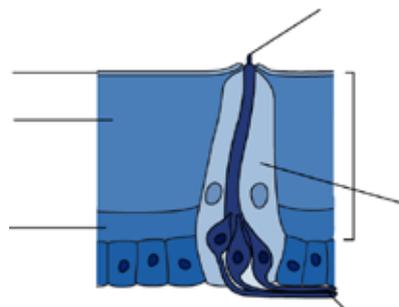
RÉCEPTEUR DU TACT



Art 2.21. Récepteur tactile

Un premier type de récepteur, important et très commun, présenté dans le schéma suivant, est connecté aux poils ou aux soies qui garnissent l'exosquelette: lorsque le poil bouge, des terminaisons réceptrices localisées à sa base sont stimulées; ainsi se résout le problème du tact.

CHÉMORÉCEPTEUR

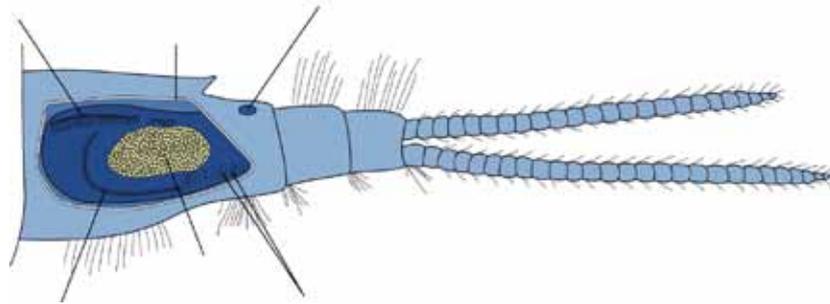


Art 2.22. Récepteur gustatif ou olfactif

Des chémorécepteurs sont logés au fond de canaux, de fentes, qui traversent l'exosquelette, ou encore à la surface de petits poils spéciaux comme dans le schéma.

Tous ces types de récepteurs sensoriels peuvent être dispersés sur la surface du corps, ou alors rassemblés en des endroits privilégiés: les articulations, les pattes, les palpes, les antennes.

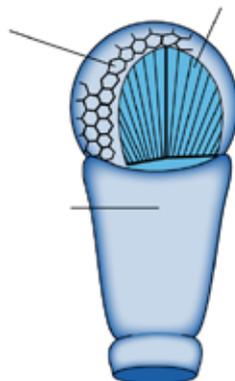
STATOCYSTE



Art 2.23. Organe de l'équilibre

L'Ecrevisse est renseignée sur sa position dans l'espace lors d'un déplacement par une paire de statocystes, localisés dans l'article de base des antennules. Les statocystes sont de simples invaginations sphériques de l'exosquelette, dont le creux contient des grains de sable agglomérés par les sécrétions de la paroi du sac. Cette paroi est tapissée de petits poils sensoriels. Selon la position de l'animal, les grains de sable se déposeront sur telle ou telle partie de la surface interne du statocyste et stimuleront donc les poils correspondants. Puisque le statocyste est une invagination de l'exosquelette, la cuticule est évacuée à chaque mue avec le contenu. Chaque fois, l'Ecrevisse doit donc y réintroduire des grains de sable.

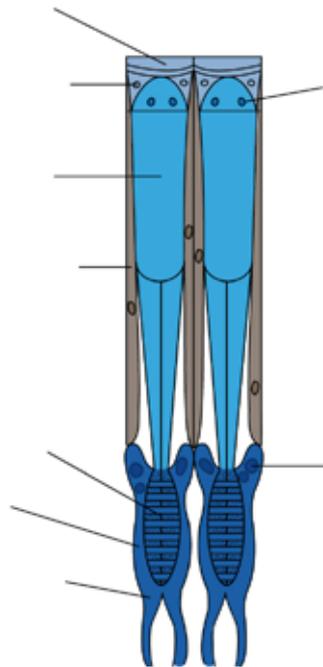
ŒIL COMPOSÉ



Art 2.24. Récepteur visuel

Mais l'organe des sens le plus remarquable, c'est l'œil ou photorécepteur. L'Écrevisse possède 2 yeux portés par un pédoncule, et logés dans une échancrure de la carapace, de part et d'autre du rostre. L'œil est composé d'unités cylindriques possédant chacune tous les éléments nécessaires à une bonne photoréception.

OMMATIDIE

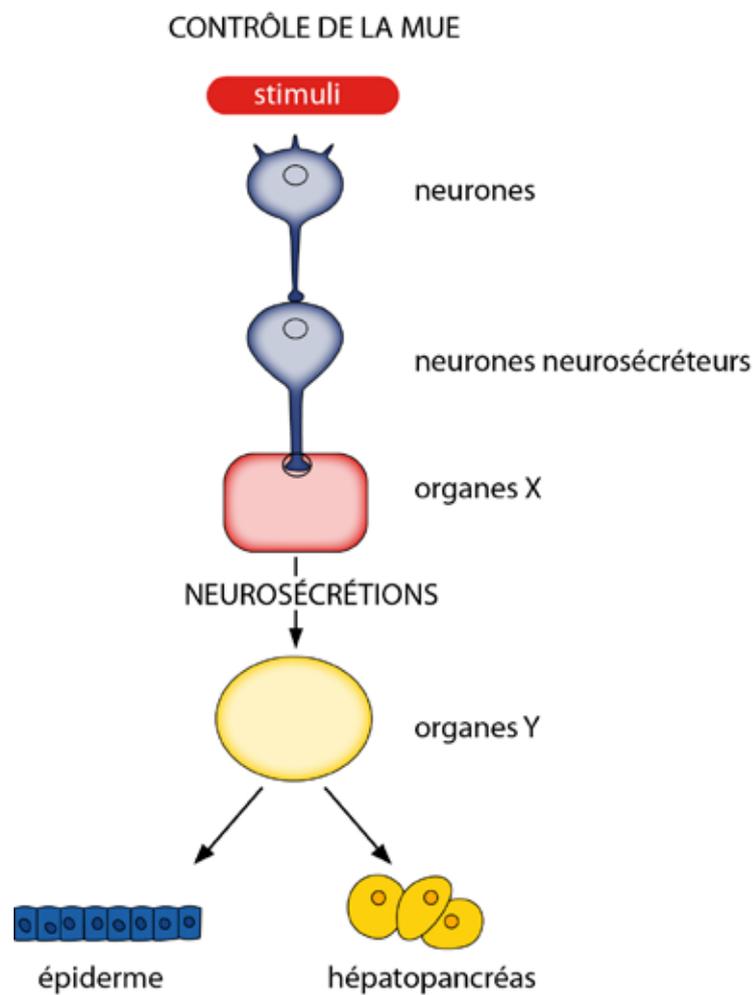


Art 2.25. Une ommatidie

Chaque unité cylindrique, dénommée ommatidie, est couverte extérieurement par une cornée transparente dérivée de la cuticule. La cornée fonctionne comme une lentille. La surface externe de la cornée, la facette, présente un contour hexagonal.

Sous la cornée, l'ommatidie comporte un cône cristallin, qui fonctionne comme une seconde lentille. Les éléments photorécepteurs proprement dits sont localisés juste en dessous du cône. Ils forment la rétine. Le centre de la rétine est occupé par un cylindre transparent, le rhabdome, autour duquel se disposent les cellules photoréceptrices allongées. On dénombre 8 cellules photoréceptrices, dont la membrane plasmique renferme les pigments photo-sensibles.

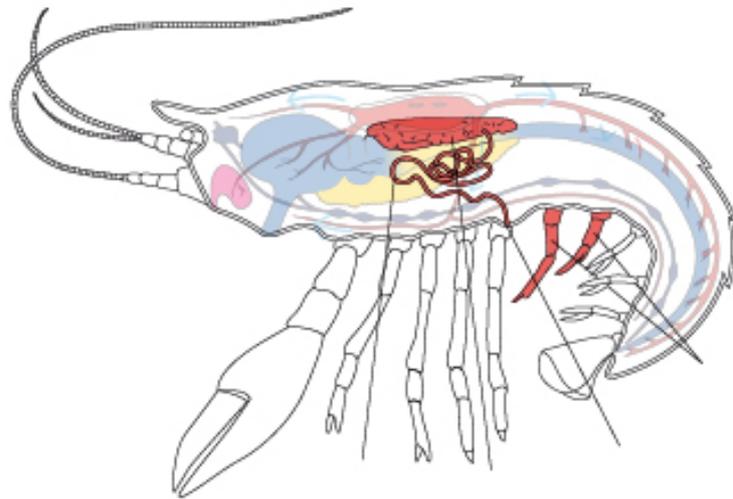
L'image totale élaborée par un œil composé résulte de la stimulation d'ommatidies individuelles. La rétine des Vertébrés fonctionne de la même manière.



Art 2.26 Le déroulement hormonal de la mue

Les neurosécrétions et les hormones de l'Ecrevisse règlent des fonctions très diverses, y compris des aspects variés du métabolisme général. Nous nous contenterons d'illustrer le contrôle de deux phénomènes majeurs: la mue et la reproduction. On sait déjà que l'Ecrevisse doit muer périodiquement au cours de sa croissance. Tant que la mue n'est pas nécessaire, les neurones neurosécréteurs inhibent les sécrétions hormonales de deux organes Y. Lorsque cesse l'inhibition, les organes Y, localisés à gauche et à droite dans le céphalothorax, produisent une hormone, l'ecdystérone (ou ecdyson). L'ecdystérone stimule alors les cellules concernées par la mue: les cellules de l'hépatopancréas qui accumulent des réserves, et les cellules épidermiques qui recyclent notamment le calcium de l'ancienne cuticule.

2.1.2.8. Système reproducteur



Art 2.27. Système reproducteur de l'écrevisse

L'Écrevisse est dioïque. Les gonades sont placées dorsalement, en-dessous du cœur, et elles sont condensées en une seule masse. Chez le mâle, les testicules déversent les spermatozoïdes par deux spermiductes très tortueux qui aboutissent aux orifices génitaux, situés sur l'article basal des pattes de la cinquième paire thoracique. Grâce aux premières paires de pléiopodes abdominaux modifiées en organe copulateur, le mâle dépose ses spermatozoïdes englués dans les sécrétions du spermiducte, près des orifices génitaux de la femelle.

Les ovules quittent les ovaires par deux oviductes et parviennent aux orifices localisés sur l'article basal de la troisième paire de pattes thoraciques. Les ovules sont fécondés dès qu'ils surgissent de l'orifice génital femelle. Ils sont entourés d'une coque résistante et gluante et attachés aux pléiopodes de la femelle. Là, les œufs se développent à l'aise, bien protégés par leur mère et bien oxygénés avec les battements continus des pléiopodes. À l'éclosion, une petite écrevisse miniature sort de l'œuf.

2.2. LE CRIQUET *LOCUSTA MIGRATORIA* (HEXAPODE)

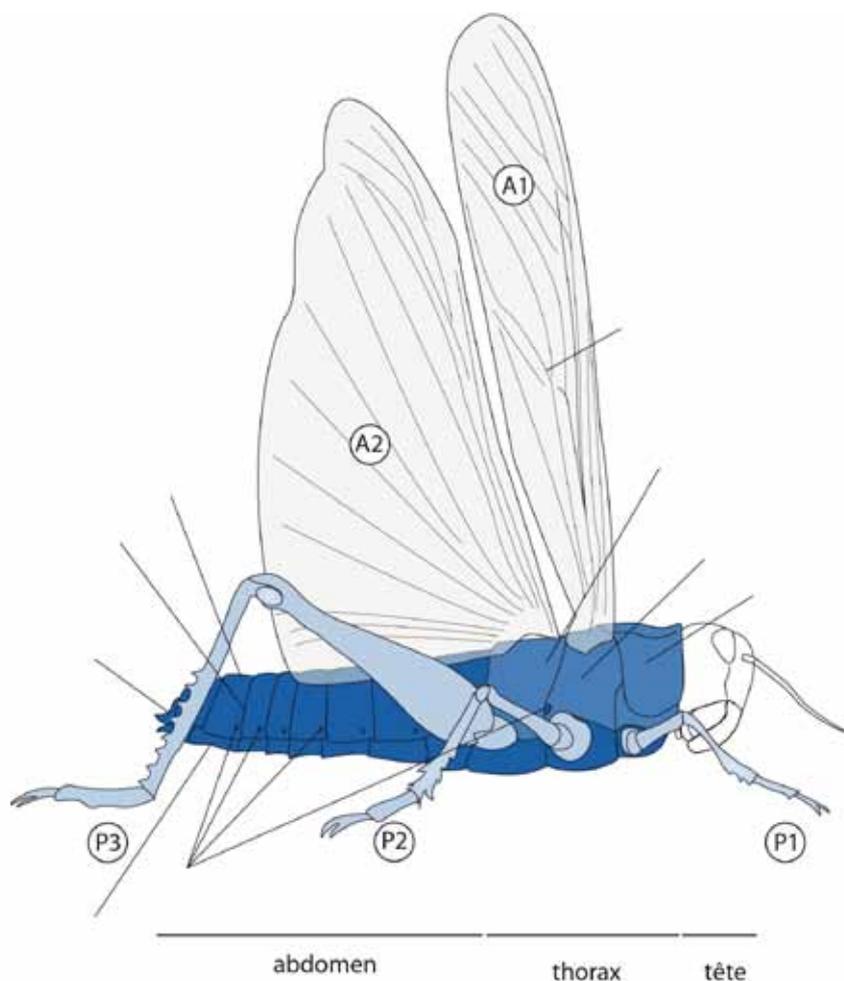


Art 2.28. Le criquet *Locusta migratoria*

Notre second exemple-type de l'Embranchement des Panarthropodes, nous le prenons dans la Classe des Insectes. Les Insectes sont appelés aussi «hexapodes » parce qu'ils possèdent 6 pattes au stade adulte. Voici le Criquet migrateur appelé *Locusta migratoria*, ou encore Locuste. Ce Criquet migrateur marche, saute, vole. Il existe sous une forme solitaire et sous une forme grégaire qui peut effectuer des déplacements sur des distances considérables de plusieurs centaines, voire milliers de kilomètres. Le passage d'une forme à l'autre est lié aux conditions climatiques. Après de fortes pluies en région aride, la végétation se développe brutalement. Les criquets disposent alors d'une abondance de nourriture et se multiplient. Avec leur multiplication et la réapparition de la sécheresse, la végétation diminue à nouveau et les criquets se concentrent alors dans les seules zones restées vertes.

Sous l'influence des contacts entre individus, les criquets subissent des transformations hormonales et la forme grégaire apparaît après deux ou trois générations, capable de voler en essaim sur de longues distances et de causer en quelques heures des dégâts irréparables aux cultures. Les individus de la forme grégaire et de la forme solitaire peuvent se reproduire entre eux et former des descendants viables. Par ailleurs, un même individu peut se développer en forme grégaire ou en forme solitaire en fonction des signaux de son environnement pendant son développement : le patrimoine génétique de chaque individu contient toutes les informations pour les deux formes de criquet. On parle de plasticité phénotypique.

2.2.1. Examen externe

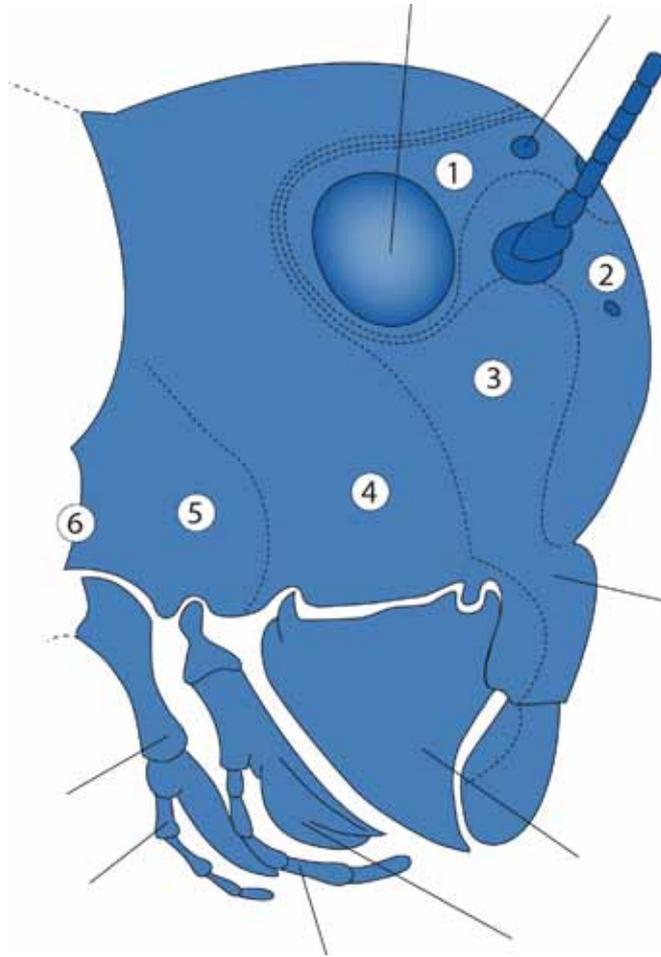


Art 2.29 Le criquet *L. migratoria*

EXERCICE

Si vous comparez l'organisation générale externe du Criquet avec celle de l'Ecrevisse, quelles ressemblances et dissimilitudes pouvez-vous repérer ?

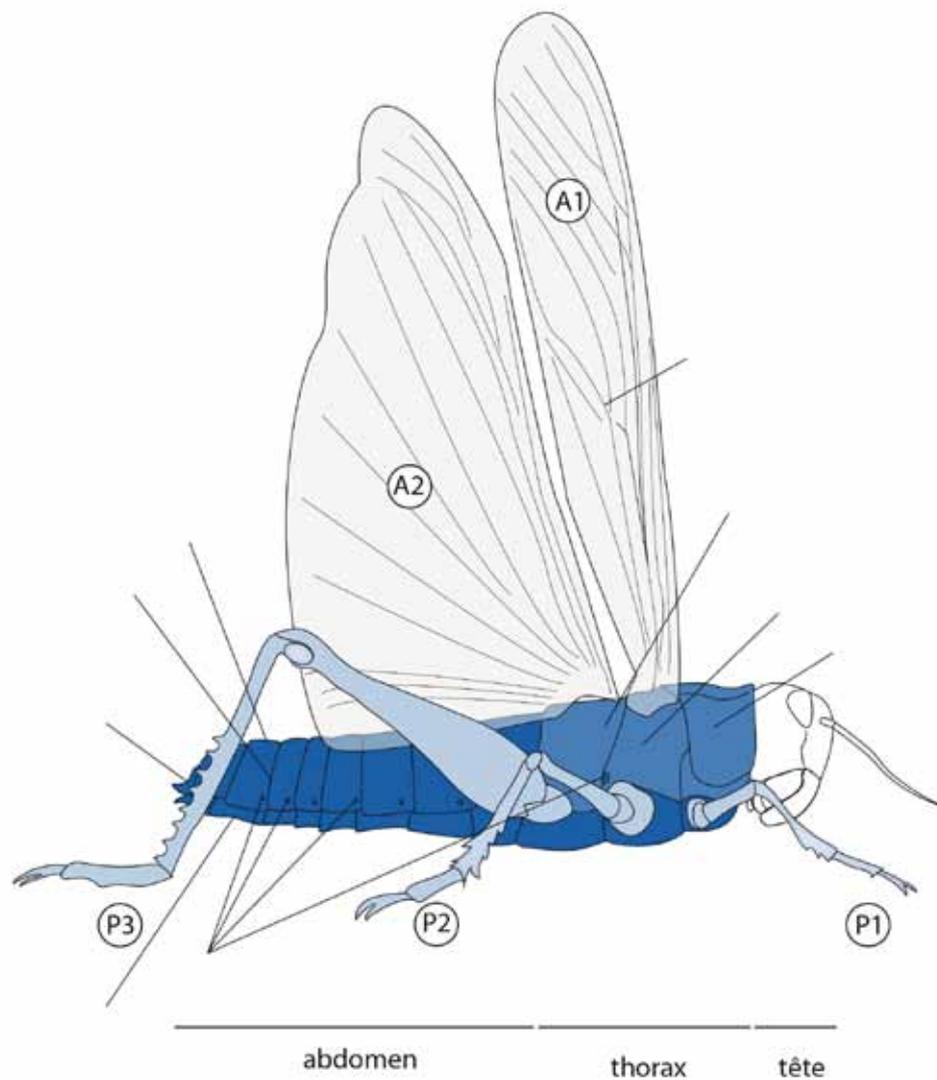
On distingue nettement trois régions du corps: la tête, le thorax et l'abdomen. Le corps est métamérisé, et chaque métamère est entouré dorsalement par le tergite, ventralement par le sternite et latéralement par les pleurites.



Art. 2.30. Détail de la région céphalique du criquet migrateur.

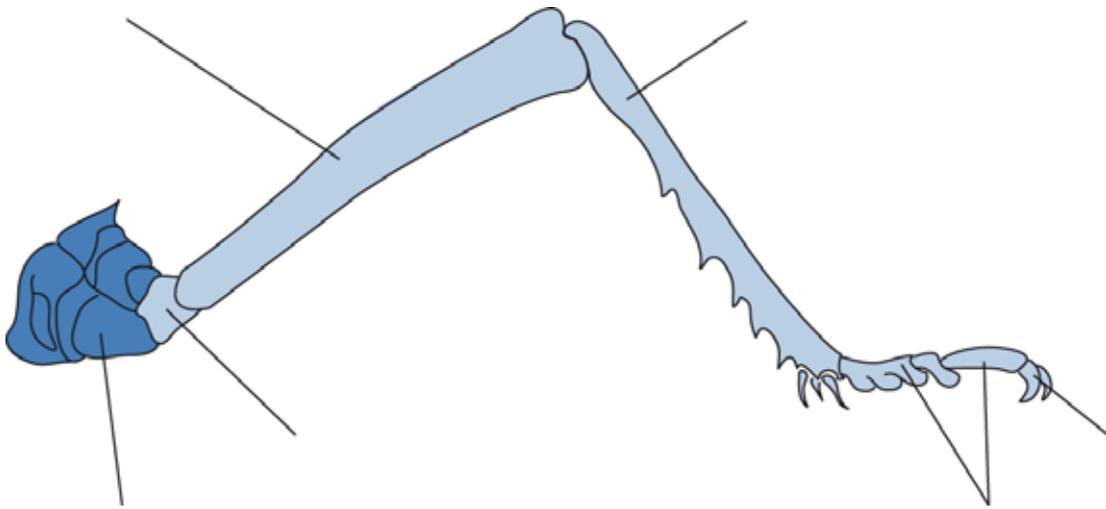
Au sommet de la capsule céphalique, vous distinguez les antennes. Elles sont sensibles au toucher, et bien pourvues de chémorécepteurs. Les deux yeux à facettes forment des images; la photo-réception concerne aussi les ocelles, plus petits. Les pièces buccales sont dirigées vers le bas: le labre doté d'une forte musculature maintient les aliments et les pousse entre les autres pièces buccales. Les mandibules saisissent la nourriture. Le labre cache les maxilles, qui sont les pièces masticatrices; on en voit seulement le palpe maxillaire qui dépasse. Ce palpe est constitué de plusieurs articles, et est doté d'une sensibilité tactile et chémoréceptrice. Le labium porte une paire de palpes labiaux, de fonctions semblables à celle des palpes maxillaires. Toutes ces pièces buccales délimitent une cavité que l'on appelle pré-orale. Elle est limitée en avant par le labre, en arrière par le labium, et sur les côtés par les mandibules et maxilles.

Sur le schéma, ces limites sont indiquées en pointillé. Le métamère 1 porte les yeux et ocelles, le 2 porte les antennes, le 3 le labre et le 4 les mandibules, le 5 les maxilles et le 6 le labium. La tête de l'insecte est donc bien métamérisée, même si la métamérisation ne vous apparaît pas au premier coup d'œil. C'est un exemple typique de la tagmose causée par les mouvements complexes des pièces lors de la morphogenèse, qui font s'interpénétrer, se réduire, s'hypertrophier, s'enchevêtrer, se recouper les métamères comme les pièces d'un puzzle.



Art 2.31. Vue externe du criquet migrateur.

Le thorax du Criquet comprend 3 métamères, appelés respectivement dans le sens antéro-postérieur: prothorax, mésothorax et métathorax. Chacun de ces segments porte une paire de pattes, et les deux derniers portent en outre chacun une paire d'ailes.



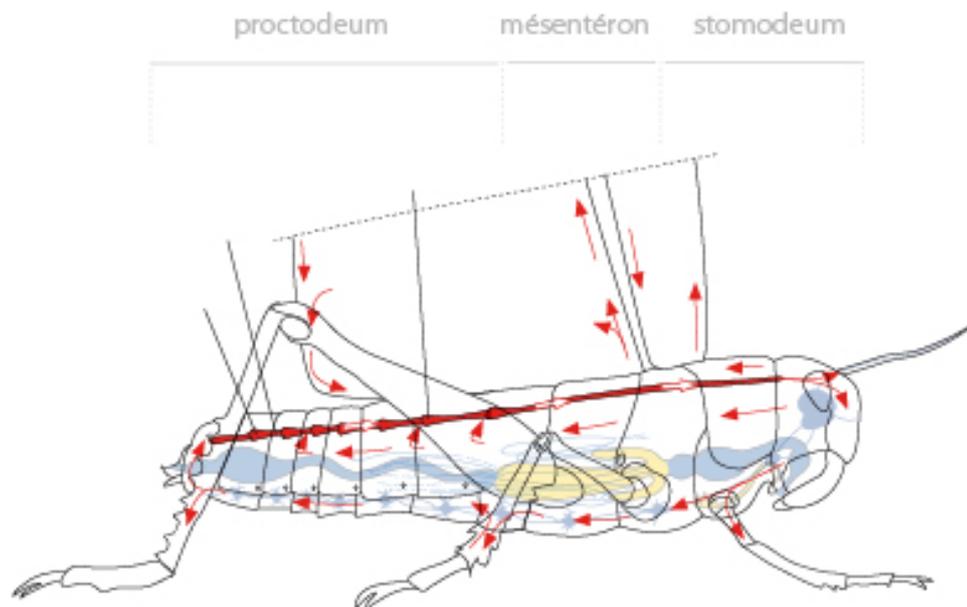
Art 2.32. Détail des pattes du criquet migrateur

Voyons maintenant les pattes. Les trois paires sont construites sur le même plan, mais leur taille et leur orientation sont variables: la première dirige la marche, le deuxième soutient le corps, et la troisième propulse; chez le Criquet, cette dernière est extrêmement développée et permet à l'animal de sauter. Chacune d'elles comporte à la base un coxa; un trochanter fait l'articulation du coxa avec le fémur; un tibia, un tarse et un pré-tarse muni de griffes. Cet examen externe du thorax démontre bien que cette partie du corps s'est spécialisée dans la fonction de locomotion, que ce soit le vol, le saut ou la marche.

L'abdomen comporte 11 métamères (plus un telson vestigial), mais les 3 derniers chez la femelle, les 2 derniers chez le mâle, sont singulièrement réduits, si bien que la femelle paraît en posséder 8, et le mâle 9. Chaque segment abdominal est percé latéralement d'orifices respiratoires appelés stigmates. Le premier segment abdominal porte sur ses flancs des organes tympaniques sensibles aux sons.

Si la tête s'est surtout spécialisée dans les fonctions de communication et de préhension, et le thorax dans les fonctions de locomotion, l'examen externe de l'animal nous montre que l'abdomen s'est spécialisé dans les fonctions végétatives dont la reproduction. Chez la femelle, l'abdomen se prolonge par un ovipositeur, un organe solide qui lui permet d'introduire ses œufs dans le sol. Chez le mâle, des plaques génitales maintiennent la femelle pendant l'accouplement.

2.2.2. Examen interne



Art 2.33. Examen interne de *L. migratoria*

EXERCICE

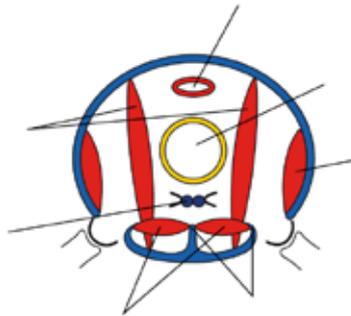
Voici un premier schéma, simplifié, de l'anatomie interne du criquet. Il situe les organes principaux. Prenez le temps de le commenter, de le comparer avec ce dont vous vous rappelez de l'Ecrevisse.

2.2.2.1. TÉGUMENT

L'épiderme sécrète la cuticule. Fondamentalement, la structure de la cuticule est semblable à celle de l'Ecrevisse. Avec une nouveauté cependant: des cellules glandulaires sécrètent une pellicule de cire qui recouvre toute la surface. Son épaisseur est minime, mais comme elle est rigoureusement imperméable, elle limite très efficacement la déperdition d'eau. La pellicule de cire est très fragile.

2.2.2.2. SYSTÈME LOCOMOTEUR

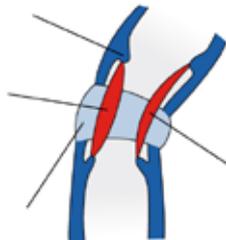
COUPE TRANSVERSALE



MOUVEMENTS MUSCULAIRES LORS DU VOL



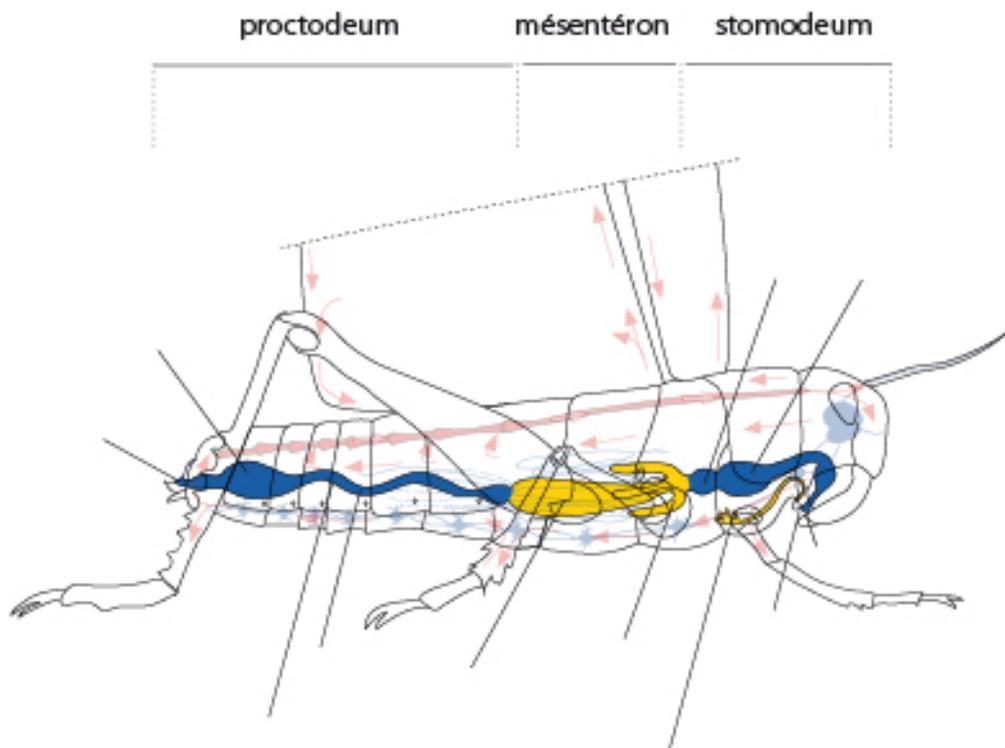
ARTICULATION D'UNE PATTE



Art.2.34. L'organisation des muscles du criquet migrateur

Nous ne décrivons pas la musculature de l'insecte, tout entière constituée de muscles striés, y compris ceux qui entourent les viscères. Voici quelques schémas. En a: une illustration des muscles longitudinaux, dorso-ventraux et obliques dans un segment; en b: les elongations et contractions pendant le vol et la position subséquente des ailes; en c: l'articulation d'une patte. Vous êtes capables de commenter ces différents schémas.

2.2.2.4. SYSTÈME DIGESTIF



Art.2.35. Coupe longitudinale montrant le système digestif du criquet migrateur

Les criquets sont phytophages: ils consomment des végétaux. Le labre pousse les aliments dans la cavité pré-orale où les maxilles les broient. Dans cette cavité, les glandes salivaires déversent des enzymes dans une solution qui sert à dissoudre les aliments et à lubrifier les pièces buccales. Enfin, les fragments de feuilles mâchés et enduits de salive pénètrent dans le tube digestif. Comme chez l'Ecrevisse, on distingue trois grandes régions le long du tube, en fonction de l'origine embryonnaire de l'épithélium, et d'ailleurs du rôle qu'elles ont: 1) le stomodeum à revêtement ectodermique, où s'accumulent les aliments et se poursuit le malaxage, 2) le mésentéron à revêtement endodermique, où se poursuit la digestion chimique et où se réalise l'absorption, et le 3) proctodeum à revêtement ectodermique, qui a un rôle d'absorption de l'eau et des sels qui peuvent encore être utilisés par l'organisme avant l'éjection des matières fécales.

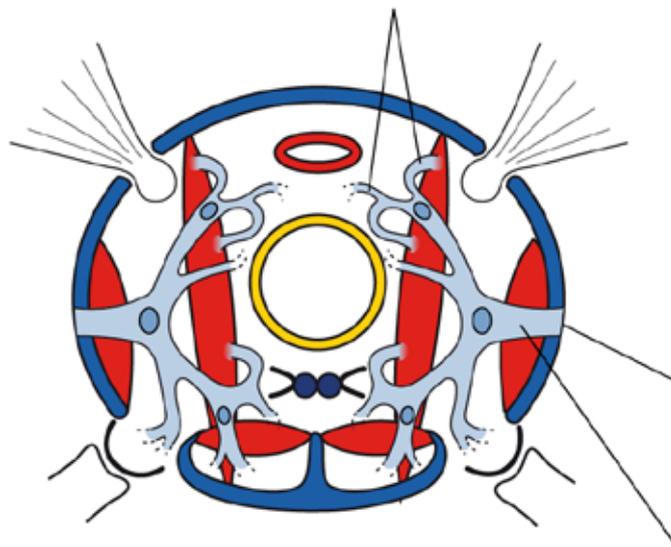
Détaillons le stomodeum. La nourriture remonte le pharynx et pénètre dans l'œsophage pour déboucher dans le jabot. C'est une poche plissée, logée dans le prothorax. Elle accumule les aliments, et les déverse progressivement dans la poche suivante: un proventricule ou gésier très musclé. L'épithélium du proventricule est armé de dents cuticulaires, qui achèvent la mastication des végétaux.

La suite du dessin indique le mésentéron. Ces végétaux réduits en bouillie très partiellement décomposée par les enzymes salivaires, entrent dans le mésentéron, site principal de production enzymatique, de digestion et d'absorption. Dès l'entrée, le mésentéron présente 6 caeca disposés en rosette. Ces évaginations augmentent beaucoup la surface intestinale, puisque chacun mesure 10 mm de long. Ils sont allongés parallèlement au tube digestif, vers l'avant et vers l'arrière. La partie postérieure du mésentéron porte d'autres tubules aveugles: ce sont les tubes de Malpighi, qui représentent le système excréteur. Les nutriments traversent la paroi digestive au niveau du mésentéron. L'hémolymphe, qui circule librement dans toutes les lacunes et les espaces du corps, se charge de récupérer les nutriments, et de les distribuer aux tissus.

Le proctodeum comporte trois régions successives appelées un peu abusivement: iléon, colon et rectum, dont l'épithélium est couvert de cuticule. Le rectum est la partie la plus remarquable: à son niveau, l'épithélium épaissi possède une extraordinaire capacité de récupération de l'eau, de sels et de quelques nutriments résiduels, non encore assimilés par le mésentéron. Enfin, ce qui ne peut vraiment plus être utilisé est éjecté par l'anus.

2.2.2.5. SYSTÈME RESPIRATOIRE

COUPE TRANSVERSALE



Art 2.36. Coupe transversale illustrant l'organisation du système respiratoire du criquet migrateur.

Les insectes disposent d'une innovation majeure qui leur a permis de s'adapter à la vie terrestre : le système respiratoire est découplé du système circulatoire. Les échanges respiratoires s'opèrent avec l'air atmosphérique par des stigmates et par un système extrêmement ramifié de trachées. Les stigmates sont pourvus d'un appareillage de fermeture et de filtration, constitué de valves et de poils, qui s'oppose à la déperdition d'eau, l'entrée de poussières et de parasites. L'ouverture et la fermeture des stigmates sont contrôlées par un jeu de muscles innervés directement, et la fréquence des ouvertures est liée à la tension d'oxygène et de CO₂ dans l'hémolymphe. Les stigmates donnent accès aux trachées.

Les trachées sont des invaginations de l'ectoderme tapissées de cuticule. A certains endroits, les trachées se dilatent en sacs aériens, tapissés seulement d'une mince cuticule, et donc particulièrement déformables.

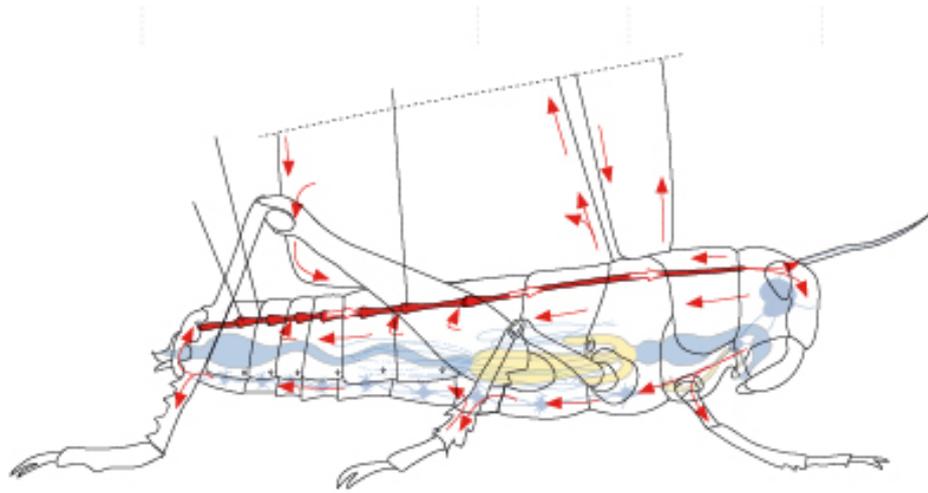
Voici un schéma récapitulatif. Nous y voyons aussi les plus petites divisions des trachées, les trachéoles qui ont un diamètre de moins d'un micron. Ces minces tubes cuticulaires se ramifient d'une trachée, puis une nouvelle fois encore à la surface des cellules dans les organes internes. La cuticule des trachéoles n'est pas évacuée à la mue comme celle des trachées; après la mue, les nouvelles trachées sont unies aux anciennes trachéoles par une sorte de colle de composition inconnue.

Dans le système trachéen, le transport des gaz se fait par diffusion le long d'un gradient de concentration, aidé par une ventilation. Cette ventilation résulte des mouvements du corps, de l'activité musculaire, qui compriment les sacs aériens. Au bout, dans les trachéoles, l'oxygène et le CO₂ sont échangés par diffusion simple. Une bonne partie du CO₂ est évacuée aussi par la surface corporelle. Au contraire des trachées, les trachéoles sont perméables à l'eau, et leur extrémité est emplies de liquide intervenant dans le transport final des gaz, qui y entrent en solution. Vous repérez ce liquide, en bleu sombre sur le dessin, au bout des trachéoles. On a pu montrer que le niveau de ce liquide augmente ou diminue en fonction de la pression osmotique des tissus voisins.

Vous pouvez vous imaginer que pendant les vols migratoires de longue durée, les mouvements sont très intenses, les rythmes de contraction et relâchement des muscles sont rapides et soutenus et les échanges gazeux très importants.

L'oxygène brûle les réserves du corps pour les transformer en énergie. Les réserves de glycogène et de graisse sont stockées dans des cellules graisseuses logées en nappes çà et là dans la cavité générale du corps. Ces réserves doivent être abondantes, si l'on songe qu'en une heure de vol, le criquet perd presque un pour cent de son poids, et qu'il peut assumer des vols de 9 heures consécutives.

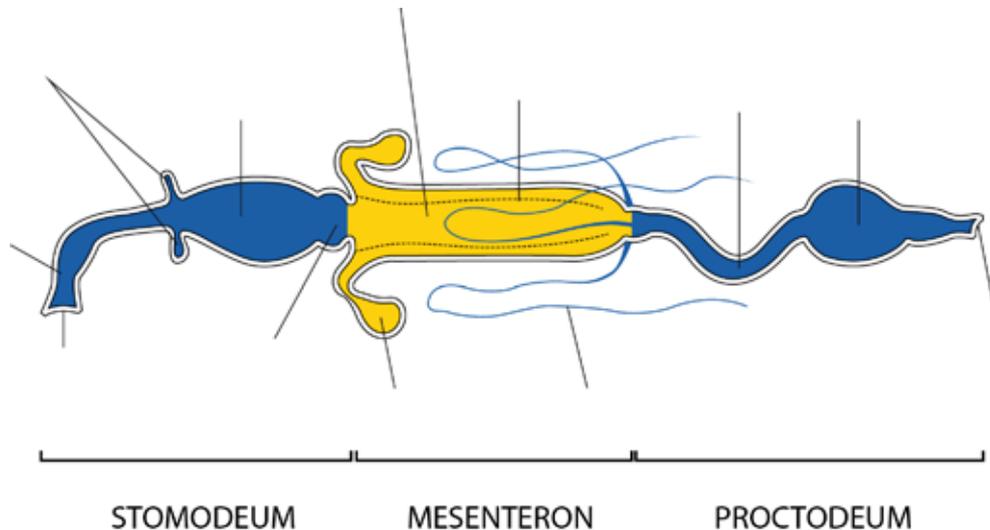
2.2.2.6. SYSTÈME CIRCULATOIRE



Art.2.37. vue schématique dans le système circulatoire du criquet

Chez les insectes, le système circulatoire est ouvert et simple. C'est le vaisseau dorsal qui préside à la bonne circulation de l'hémolymphe dans l'organisme; il est rattaché à la paroi du corps latéralement par des muscles. La partie postérieure de ce vaisseau montre sept dilatations, des ventricules contractiles. Chaque ventricule se situe au niveau d'un métamère et est percé de deux ostioles latérales, munies de valves. Ce vaisseau dorsal est étendu dans une cavité: le sinus péricardique, séparé du sinus péri-intestinal par un diaphragme dorsal discontinu. Lorsque le corps se contracte, l'hémolymphe est pulsée dans le sinus péricardique, elle pénètre dans le vaisseau par les ostioles. Les contractions des ventricules et de l'aorte qui les prolongent vers l'avant propulsent l'hémolymphe dans la tête, d'où elle passe à nouveau dans tout le corps, y compris dans les appendices, en suivant un trajet déterminé par d'autres diaphragmes. Contrairement à l'écrevisse, il n'y a pas d'autre vaisseau.

2.2.2.7. SYSTÈME EXCRÉTEUR



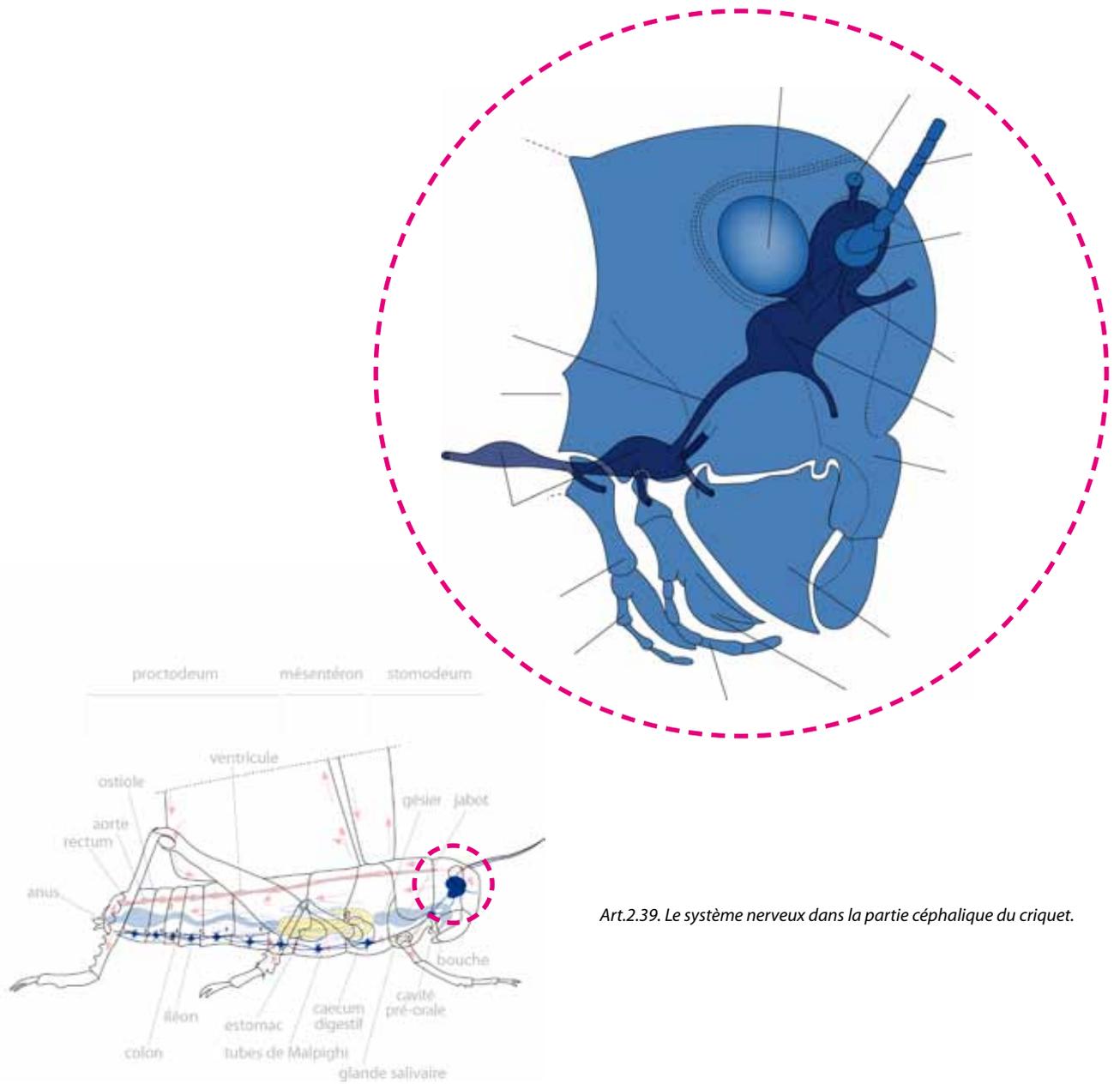
Art.2.38. Vue schématique du cycle d'absorption des nutriments

L'hémolymphe a une grande importance physiologique, puisqu'elle charrie les nutriments et les déchets du catabolisme, mais elle n'a qu'un rôle respiratoire très réduit, contrairement au sang des autres animaux que nous avons examinés. Chez le Cricquet comme chez les autres Insectes, les échanges respiratoires se font directement entre les trachéoles et les cellules. Il n'y a donc généralement pas de pigments sanguins pour le transport de l'oxygène.

Dans la cavité générale du corps, l'hémolymphe chargée de déchets les déverse dans les tubes de Malpighi, insérés à la jonction mésentéron-proctodeum. Le produit terminal principal du catabolisme azoté est l'acide urique; il est prélevé par les tubes de Malpighi, mélangé avec de l'eau, des acides aminés, des sucres, des sels. Ces dernières substances regagnent en partie l'hémolymphe à partir des tubes de Malpighi. Elles sont symbolisées par les flèches vertes. Puis l'urine provisoire est déversée dans le proctodeum. En profitant des fortes capacités de réabsorption du rectum, l'eau, les sels, les sucres et les acides aminés regagnent l'hémolymphe. L'acide urique précipite sous forme de cristaux, évacués avec les excréments par l'anus.

Des cellules phagocytaires prélèvent aussi les débris complexes et les dégradent. On trouve aussi des phagocytes dans le tissu graisseux. Ils servent à stocker l'acide urique. Les sels en excès et d'autres substances sont déposés dans la cuticule, pour être éliminés à la prochaine mue.

2.2.2.7. SYSTÈME NERVEUX



Art.2.39. Le système nerveux dans la partie céphalique du criquet.

En-dehors des yeux, ocelles et organes tympaniques, les organes des sens sont essentiellement concentrés sur les appendices : chémorécepteurs, poils rigides et amincissements de la cuticule sous lesquels se dressent des prolongements sensoriels.

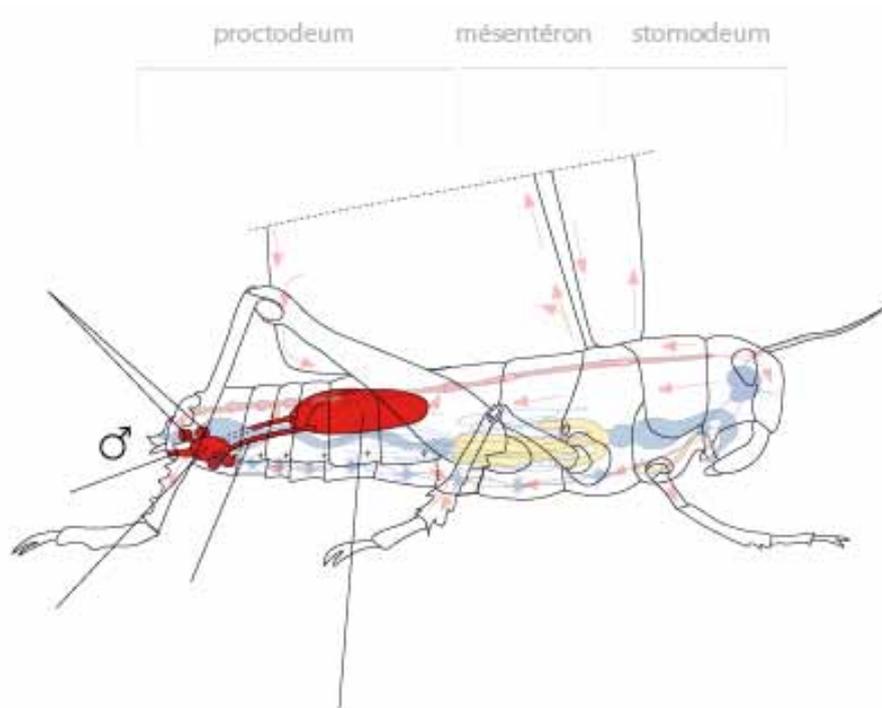
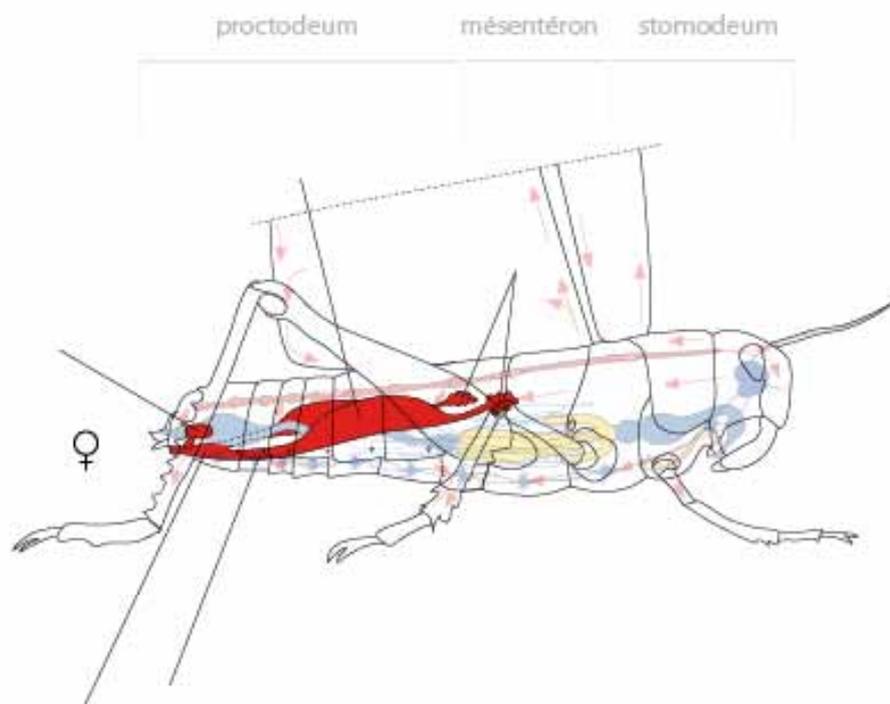
Le criquet possède deux types de photorécepteurs : les ocelles et les yeux composés. Chacune des trois ocelles du criquet est organisée un peu comme l'ommatidie d'un œil composé: elle peut donc seulement détecter des changements de l'intensité lumineuse, et même être sensible aux très faibles intensités, mais elle est incapable de former une image. Quant aux yeux composés, leur structure ressemble fort à celle décrite chez l'Ecrevisse. Le champ visuel de chaque œil est proche de 180 degrés. Le Criquet perçoit une grande variété de couleurs, mais comme chez nombre d'autres insectes, des expériences ont montré que la sensibilité spectrale est différente de la nôtre: elle est déplacée légèrement vers l'ultraviolet.

Tous ces dispositifs sensoriels sont reliés à un système nerveux, bâti sur un plan très comparable à celui que nous avons décrit chez l'Ecrevisse. Les nerfs en provenance des yeux pénètrent dans le protocerebrum, qui renferme les centres optiques. Le deutocerebrum reçoit les nerfs de la première paire d'antennes et contient leurs centres d'association. Le tritocerebrum reçoit les nerfs de la seconde paire d'antennes et innerve la bouche ainsi qu'une partie du tube digestif. Connectées à la commissure du tritocerebrum, en arrière de l'œsophage, nous trouvons la chaîne nerveuse ventrale, médiane et formée de ganglions métamériques plus ou moins fusionnés. Ces ganglions innervent notamment les appendices buccaux, thoraciques et abdominaux.

EXERCICE

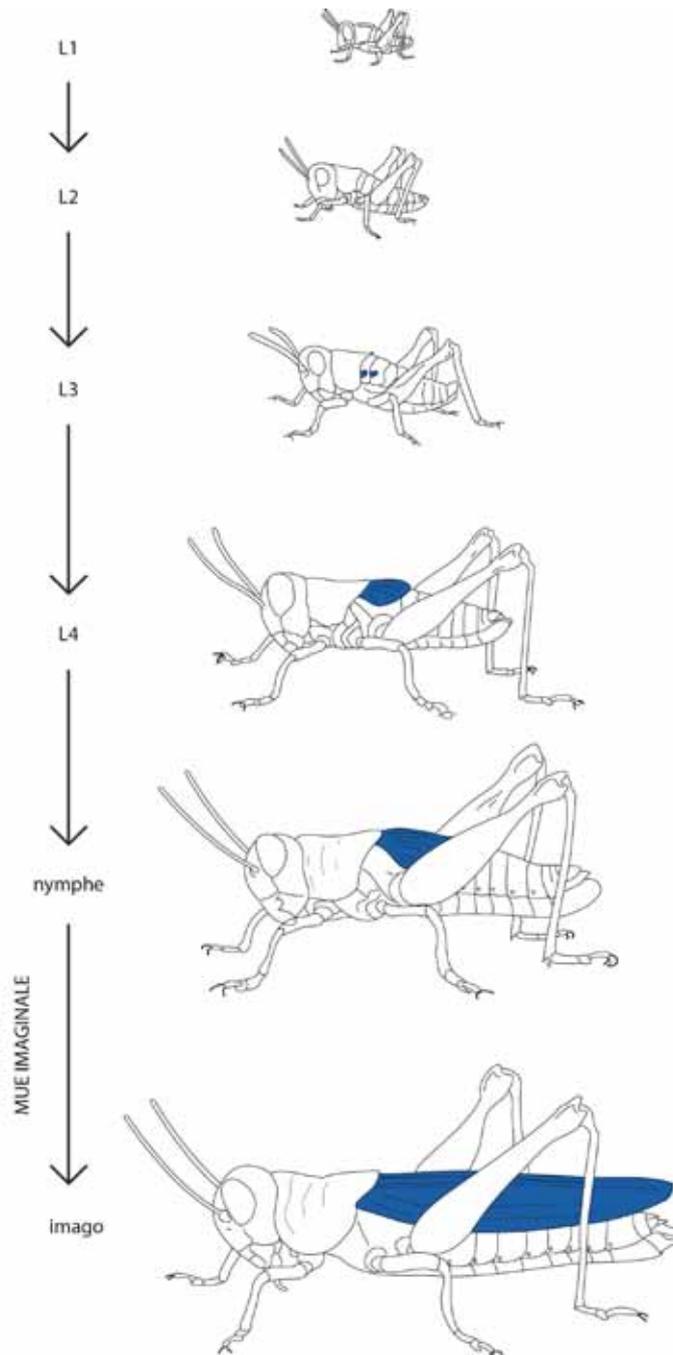
La vue joue un rôle important dans la transition entre les formes de Criquets solitaires et grégaires. Par quelles expériences tenteriez-vous pour démontrer sans ambiguïté cette affirmation? (n'oubliez pas qu'une opération traumatisante sur cette pauvre bestiole perturberait évidemment le mécanisme que vous voulez précisément démontrer).

2.2.2.8. SYSTÈME REPRODUCTEUR



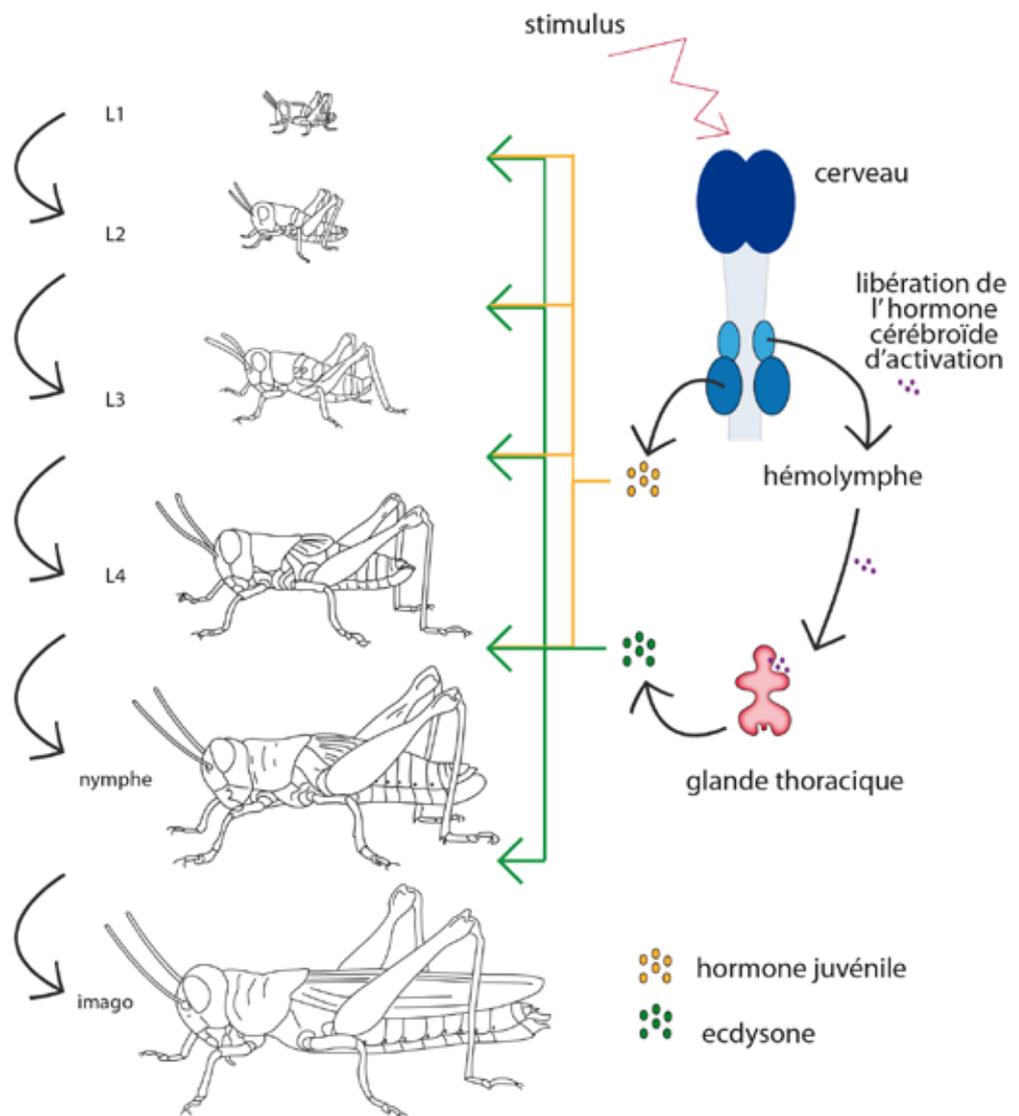
Art.2.40 Vue schématique du système reproducteur du criquet migrateur femelle (au-dessus) et mâle (en-dessous).

Lors de l'accouplement, le sperme transite par le pénis qui fait protrusion et est introduit dans l'atrium génital de la femelle. Chez la femelle, les œufs se forment dans les ovaires. A maturité, ils passent dans les oviductes. Les glandes accessoires y déversent une sécrétion, qui entoure les œufs et durcira au contact de l'air, constituant une oothèque. La fécondation survient lors de l'accouplement, ou longtemps après! Le réceptacle séminale peut stocker des réserves de spermatozoïdes, et les entretenir pour qu'ils survivent plusieurs mois.



Art.2.41. Développement par mue chez le criquet migrateur

La nymphe grandit par mues successives. Au cours de la croissance et des mues qui lui sont associées, l'animal acquiert de nouvelles structures qui le font ressembler de plus en plus à l'adulte. Par exemple, vous voyez sur ce schéma à quel moment les ailes apparaissent. De même le système génital n'arrivera à maturité fonctionnelle qu'au moment de la dernière mue. On appelle «nymphe» l'individu dans sa phase de développement et «imago» la forme adulte de l'insecte parfait. Chaque mue est nommée «mue nymphale» sauf la dernière dite «mue imaginale» parce qu'elle produit l'imago. Ce développement peut durer de 30 jours à plusieurs mois en fonction de la température. Les criquets font partie du groupe des Hétérométabole car la première larve ressemble déjà à l'adulte. Contrairement aux papillons qui appartiennent aux Holométaboles et dont le dernier stade larvaire subit une métamorphose complexe pour se transformer de chenille en papillon.



Art.2.42. Régulation hormonale de la métamorphose.

Après intégration des stimuli externes et internes dans le cerveau, l'information est transmise à certains groupes de neurones neurosécréteurs qui élaborent des hormones et les véhiculent le long des axones vers des organes de stockage appliqués à la surface du cerveau: les corpora cardiaca. Libérées dans l'hémolymphe, ces neurosécrétions vont stimuler les glandes thoraciques, qui à leur tour secrètent l'hormone de mue: l'ecdysone.

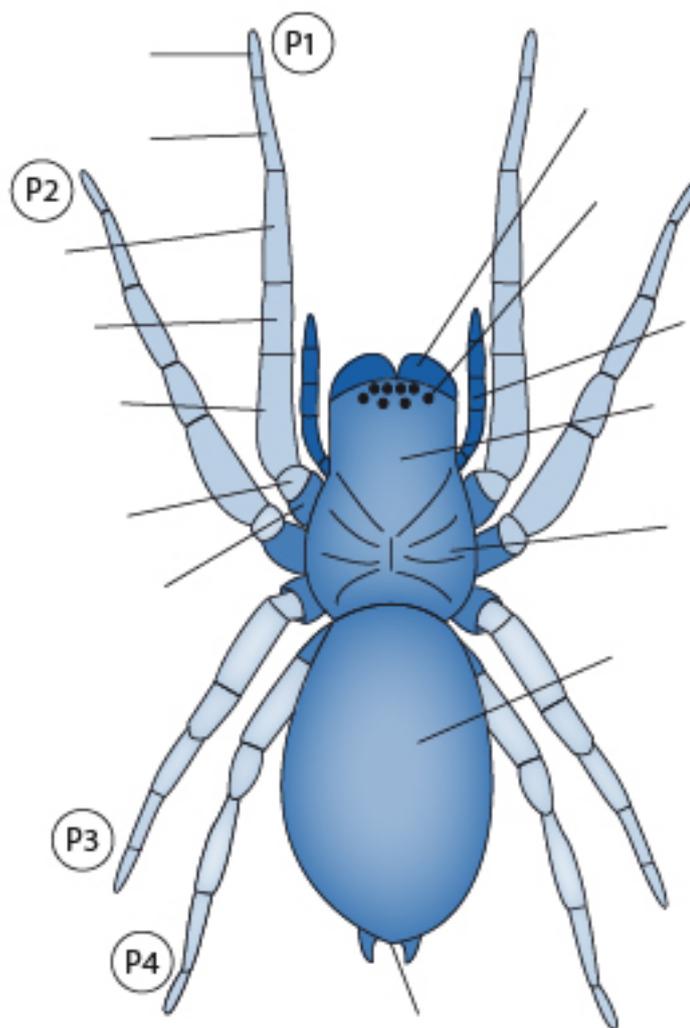
L'ecdysone est libérée dans l'hémolymphe, elle parvient aux tissus et y stimule la croissance et la mue.

Mais pendant les stades nymphaux, une autre neurosécrétion stockée dans les corpora cardiaca excite les corpora allata voisins. En réaction, ceux-ci secrètent l'hormone juvénile, qui agira aussi sur les tissus. Comme son nom l'indique, l'hormone juvénile est responsable du maintien des caractères jeunes.

C'est donc surtout le jeu des deux hormones, ecdysone et hormone juvénile qui règle le développement de l'insecte. Si les deux hormones sont en concentration suffisante, le résultat sera une mue nymphale. Si l'hormone juvénile n'est plus guère sécrétée, la mue sera imaginale. Et enfin, chez l'imago, les glandes thoraciques sécrétrices d'ecdysone dégénèrent: il n'y aura donc plus de mue, l'animal a son squelette définitif.

2.3. L'ÉPEIRE DIADÈME *EPEIRA DIADEMATA* (CHÉLICÉRATE)

FACE ANTÉRIEURE



FACE POSTÉRIEURE

Art 2.43. *Epeire diadème sur sa toile*

Le dernier exemple d'Euarthropode que nous étudierons en profondeur, ce sera une Araignée très commune en Europe: l'Épeire diadème ou *Epeira diademata*.

EXERCICE

En examinant cette image, quelles différences majeures lui trouvez-vous par rapport au Criquet et à l'Ecrevisse? Prenez un peu de temps pour réfléchir et noter vos observations.

2.3.1. Examen externe

Le corps de l'araignée diadème apparaît composé de deux parties bien distinctes: une petite et l'autre beaucoup plus grande; la petite est le céphalothorax sur lequel s'articulent les pattes; l'abdomen est dépourvu d'appendices locomoteurs. Le céphalothorax porte les yeux et 6 paires d'appendices.

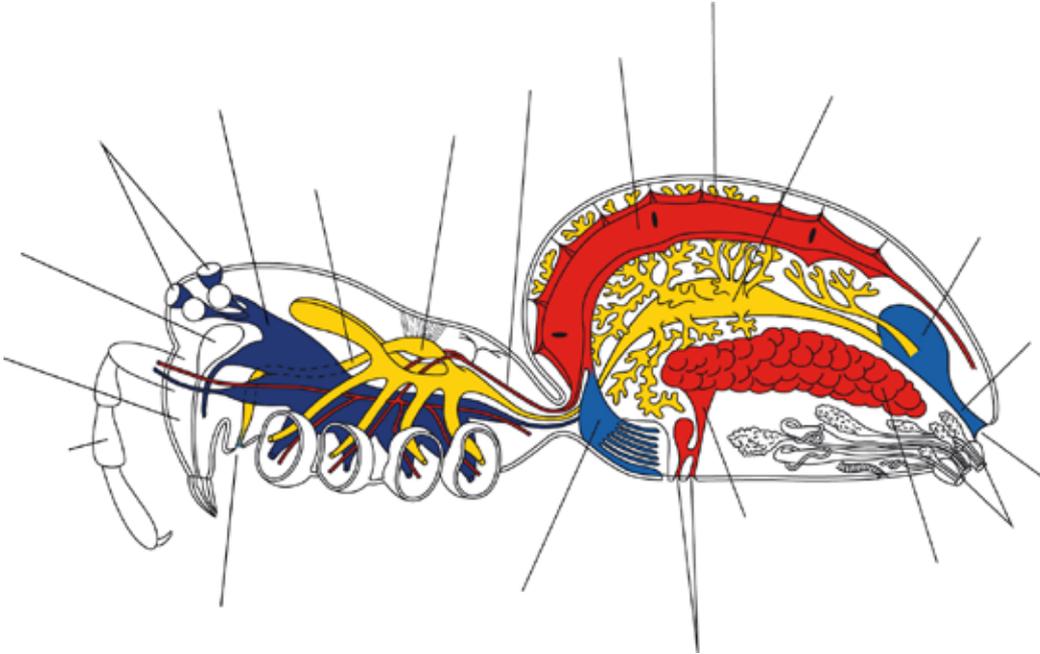
La bouche ventrale est encadrée de 2 paires d'appendices, les chélicères et les pédipalpes. Les chélicères sont les pièces buccales typiques des Araignées. Quand l'araignée attaque une proie prise au piège de sa toile, elle ouvre ses crochets, écarte au maximum ses chélicères l'une de l'autre, puis elle les resserre dans le corps de sa victime et lui injecte une dose de poison qui la paralyse aussitôt.

Les pédipalpes situés en arrière des chélicères sont sensibles au toucher et garnis de chémorécepteurs. Ils remplissent le rôle joué par les antennes chez les Insectes. Chez l'araignée mâle, ces palpes sont modifiés en organe copulateur.

Les pattes locomotrices, au nombre de 4 paires, comptent les 6 articles décrits chez la Locuste, plus une pièce intermédiaire. Enumérons: le coxa, le trochanter, le fémur, puis la patelle qui est cette pièce intermédiaire, et enfin, le tibia, le tarse et le prétarse muni de griffes.

Au niveau de l'abdomen, deux stigmates respiratoires s'ouvrent à la partie antérieure, et très près de ceux-ci l'orifice génital. Juste en avant de l'anus terminal, vous voyez 6 filières disposées en rosace. Ces excroissances sont mobiles et l'araignée les utilise avec dextérité lorsqu'elle construit sa toile. La soie contient de la kératine et est sécrétée par de nombreuses glandes dont les canaux débouchent au sommet des filières.

2.3.2. Examen interne



Art 2.44. Coupe longitudinale dans une épéire diadème

Voyons d'abord le système digestif. La nourriture liquéfiée est pompée, aspirée par l'œsophage, le pharynx et l'estomac, puis passe dans le mésentéron absorbant. Le mésentéron prend énormément de place avec tous ses diverticules qui s'allongent jusque dans les pattes et emplissent une bonne partie de l'abdomen. Le proctodeum conduit les détritux à l'an.

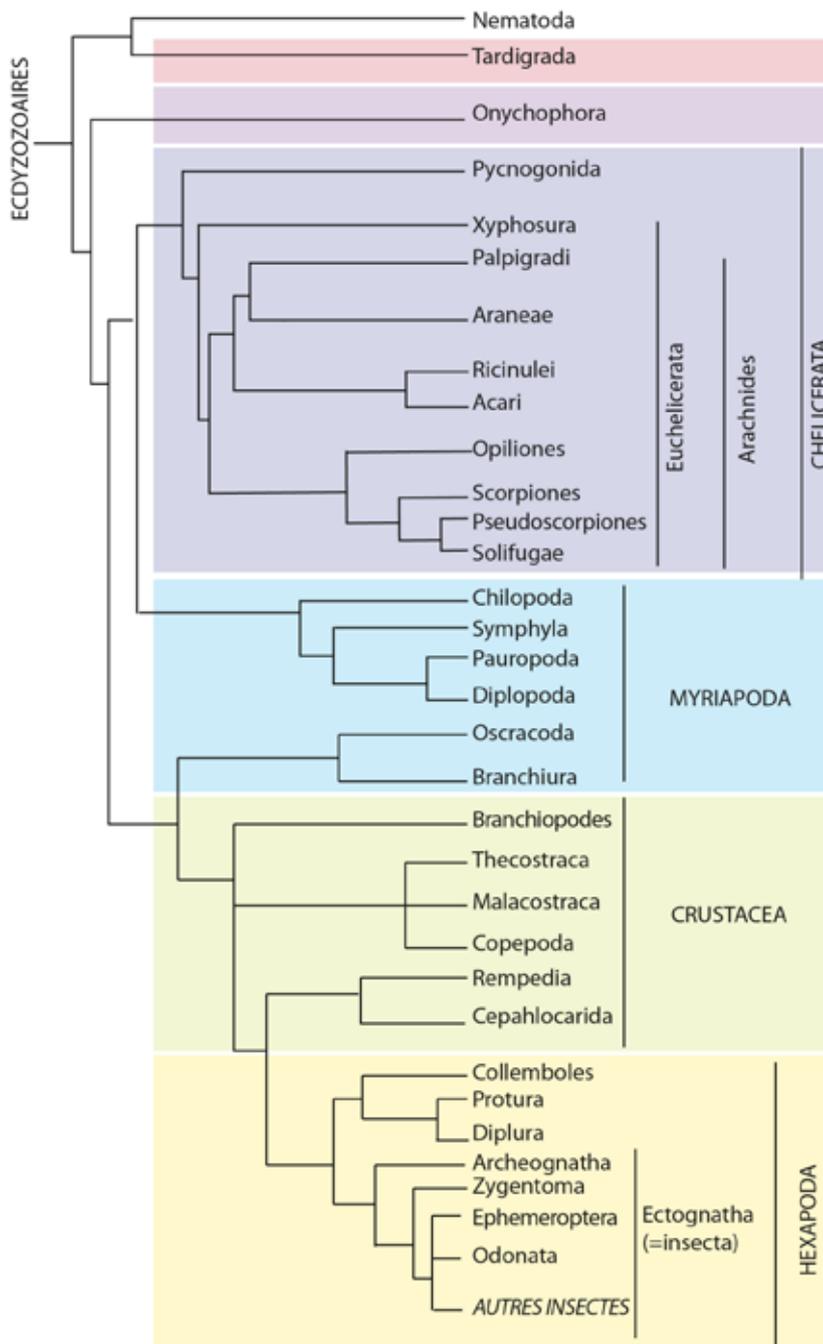
L'air pénétrant par les stigmates parvient dans deux invaginations ectodermiques renforcées de cuticule et disposées en lamelles: ce sont les poumons feuilletés. Entre les lamelles emplies d'air circule l'hémolymphe qui s'oxygène, largue son CO_2 et retourne dans la cavité péricardique entourant le cœur dorsal, percé d'ostioles.

Il vous reste encore à localiser le système génital, et l'appareil excréteur: deux tubes de Malpighi raccordés à la jonction mésentéron-proctodeum.

Enfin, le système nerveux en bleu, est hyperconcentré dans le céphalothorax: un gros cerveau antérieur, relié à une masse ventrale de ganglions fusionnés par deux commissures autour du pharynx.

Voilà, ce fut bref pour l'Araignée, mais vous disposez maintenant d'un représentant des trois lignées principales d'Euarthropodes, que vous pouvez comparer à loisir. Maintenant, nous allons aborder l'évolution et la fantastique adaptabilité de ce phylum.

3. Diversité et relations entre les Groupes



Art.3.1. Arbre phylogénétique montrant la diversité et les relations évolutives entre Panarthropodes

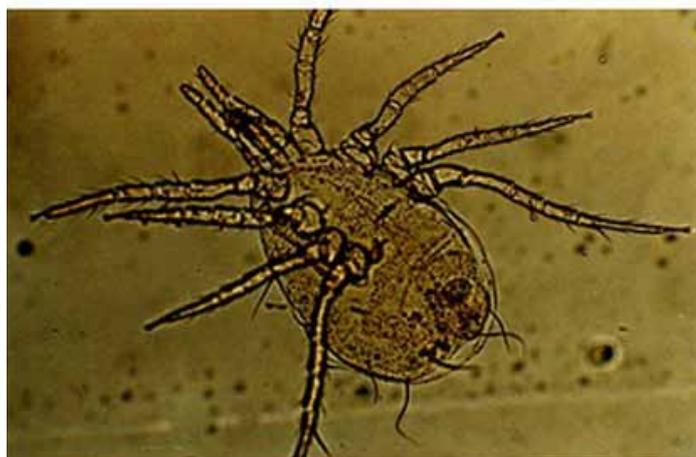
Les clades majeurs et la diversité qu'ils contiennent sont décrits dans le cours en ligne, pour votre information. Seules quelques espèces emblématiques vous sont rapidement présentées.



Art. 3.2. L'acarien *Tetranychus urticae* (photo de Gilles san Martin).

Les Acariens constituent une classe très importante pour l'Homme, du point de vue économique et de la santé. Les Acariens ont une distribution extrêmement large et ont colonisé tous les milieux y compris les milieux marins et d'eau douce. Ils sont présents aussi bien dans les sources chaudes que dans des eaux à pH 9.6. On les retrouve aussi bien en Régions tempérées ou Tropicales qu'en Antarctique où ils supportent des températures de l'ordre de -60°C ou dans le désert de Namibie à $+50^{\circ}\text{C}$.

Tetranychus urticae, de la famille des Tetranychidae, sont à peine visibles à l'œil nu. Adultes, ils atteignent seulement 600 microns. Les Tétranyques sont posés sur une feuille de haricot et ils ont planté leurs chélicères dans les cellules de l'épiderme dont ils se nourrissent. Les espèces appartenant à ce groupe s'attaquent aux principales plantes cultivées sur terre. En raison de la rapidité de la croissance de leurs populations, ils provoquent des dégâts considérables qui se traduisent en pertes économiques.



Art 3.3 l'acarien *Phytoseiulus persimilis*

Ils ont leurs propres prédateurs, les Acariens de l'Ordre des Gamasides couramment utilisés en lutte biologique.



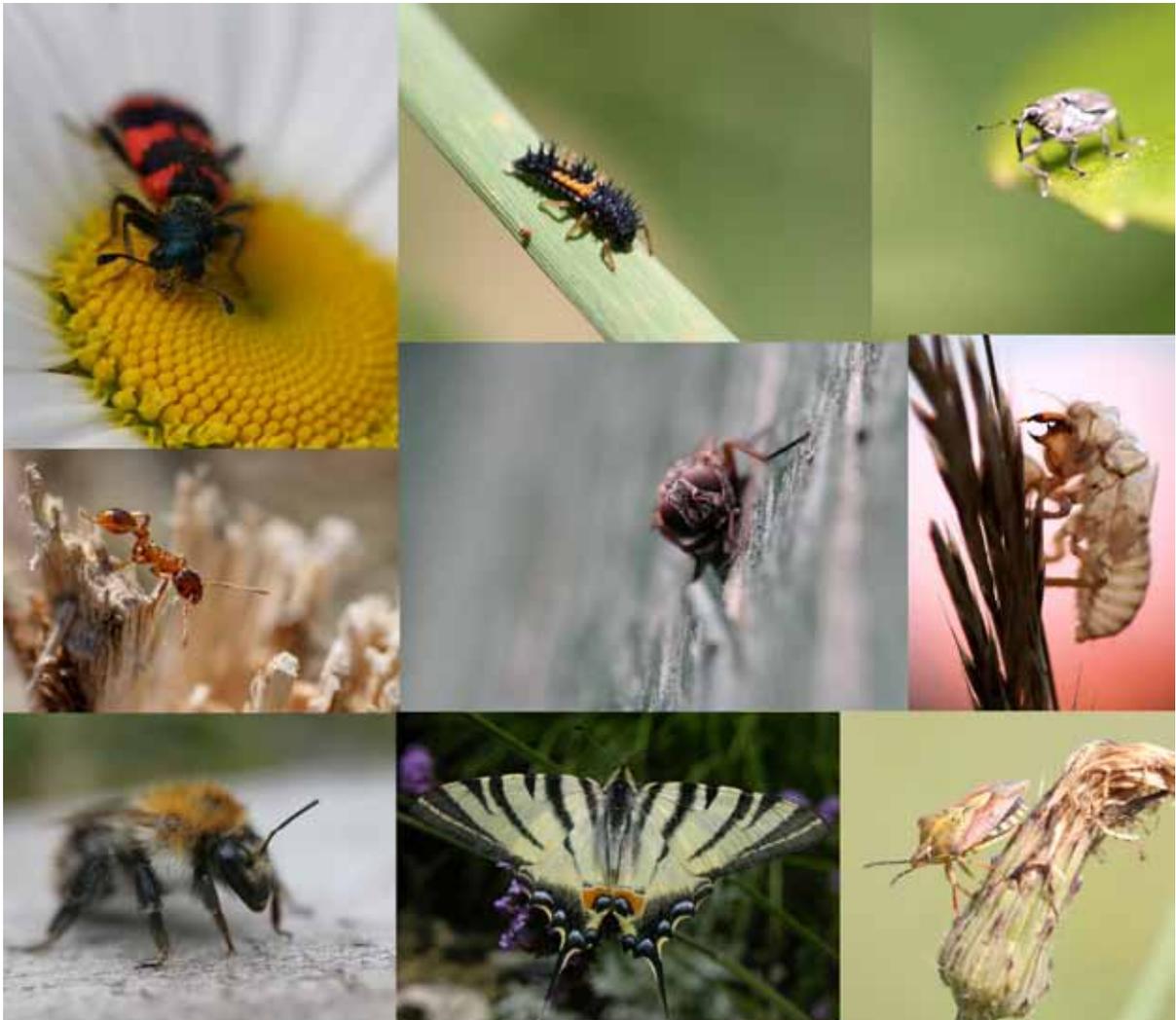
Art 3.4. L'acarien des poussières (photo de Gilles San Martin)

Certains Acariens apprécient beaucoup notre compagnie; on les trouve dans nos poussières domestiques, dans nos matelas. Ils sont responsables de pas mal d'allergies. Voici un exemple d'Acariens des poussières.



Art3.5. La tique *Ixodes uriae*

Beaucoup sont parasites de l'Homme et de ses animaux domestiques. En voici un très commun: une tique de la Famille de Ixodidae. Ces animaux se nourrissent de sang de Vertébrés, car la femelle a besoin de sang pour assurer le développement de ses œufs. On la voit ici dans les poils de son hôte; elle est difficilement reconnaissable. L'abdomen s'est gonflé de sang comme une outre. En passant d'un individu à l'autre, les Tiques peuvent transmettre divers organismes pathogènes.



Art 3.6. Diversité des hexapodes

Parmi les hexapodes, dont un nombre étonnant d'espèces d'Insectes est décrit: plus de 830.000 et peut-être 5, 10 ou 50 fois plus d'espèces à découvrir et à décrire encore. Ce groupe connaît un succès énorme, mais bien que l'on puisse citer divers caractères de leur organisation dont l'efficacité est évidente, il est délicat de mettre le doigt sur la caractéristique particulière à laquelle on puisse attribuer cette réussite remarquable. Leur plasticité évolutive est sans doute en jeu: les Insectes proposent une variété de structures des plus étonnantes, qui montre autant d'adaptation à des milieux, des conditions de vie et des régimes alimentaires les plus variés. Les entomologistes distinguent deux douzaines d'Ordres actuels d'Insectes, plus une autre douzaine d'Ordres fossiles, à présent éteints. Nous n'entrerons pas dans les détails concernant tous ces Ordres.

Les ailes sont bien entendu une caractéristique majeure des Insectes. Mais tous les Insectes ne sont pas ailés. Un groupe primitif aptère constitue les Aptérygotes qui regroupe notamment les Thysanoures et les Collembolés.



©2005 Antónia Monteiro



©2013 Didier Descouens

Art 3.7. Les papillons africain *Bicyclus anynana* (à gauche) et européen *Pararge aegeria* (à droite) (Lépidoptères)

L'apparition des ailes chez les insectes est une innovation dont on découvre la première trace chez des fossiles qui datent d'il y a 325 millions d'années. Les insectes ailés constituent le groupe des Ptérygotes.

Le mécanisme évolutif qui a permis cette innovation n'est pas encore bien compris. Au cours de l'évolution, l'apparition des ailes s'est faite en plusieurs étapes. Les premiers fossiles Aptérygotes datent du Silurien. Les premiers Paléoptères sont apparus plus tard au Carbonifère, il y a -325 millions d'années. *Delitzschala bitterfeldensis*, découvert en 1996 en Allemagne, en est le plus ancien représentant connu. Les Libellules (ici en photo) et les Ephémères en sont des représentants actuels. Chez les Néoptères, plus récent, le mécanisme est perfectionné par l'ajout d'une articulation permettant la flexion des ailes le long du corps. C'est le cas par exemple chez la Locuste. Néanmoins, la question reste d'actualité car une aile fonctionnelle ne peut pas apparaître d'un coup par le résultat d'une seule mutation. Plusieurs hypothèses sont donc avancées. La première suppose qu'à l'origine, des petites expansions latérales du tergite, sur les segments thoraciques, auraient aidé l'Insecte à ne pas se retourner, ne pas tourbillonner quand il sautait. Puis ces petites plaques auraient grandi, lui permettant de sauter plus loin, en vol plané. Enfin, des articulations seraient apparues, assurant ainsi un vol battu, avec les ailes en mouvement. Une autre hypothèse donne comme fonction de départ de ces premières expansions un rôle de régulation thermique qui plus tard aurait évolué vers le vol. Les papillons actuels étalent encore largement leurs ailes au soleil afin que leur corps puisse atteindre plus rapidement une température permettant l'activité.

Puisque les ailes sont des évaginations du tégument, elles sont constituées de deux feuillets de cuticule. Le long d'une nervure, les deux cuticules sont épaissies, et séparées par une trachée; donc, on obtient une lumière tubulaire et de part et d'autre, deux renforcements cuticulaires; ainsi les nervures constituent un renfort squelettique efficace. Les nervures de l'aile s'ouvrent dans l'hémocoèle, et sont emplies d'hémolymphe (c'est elle qui fait s'épanouir les ailes après la mue, en emplissant progressivement les nervures).

Si nous cherchons à retracer l'histoire évolutive des Insectes ailés, et par la même occasion à rendre compte de leur diversité actuelle, nous pouvons raisonnablement les classer en quatre groupes importants, allant des formes primitives aux plus évoluées. On se base sur des particularités de leur biologie, et aussi justement sur la structure des ailes, capables ou non de se replier sur l'abdomen et plus ou moins riches en nervures. Les Insectes Ptérygotes les plus primitifs possèdent des nervures disposées en réseau. Plus tard, on observera une tendance généralisée à la réduction de ce réseau en quelques grosses nervures longitudinales, reliées par des transversales.

4. Origine et évolution

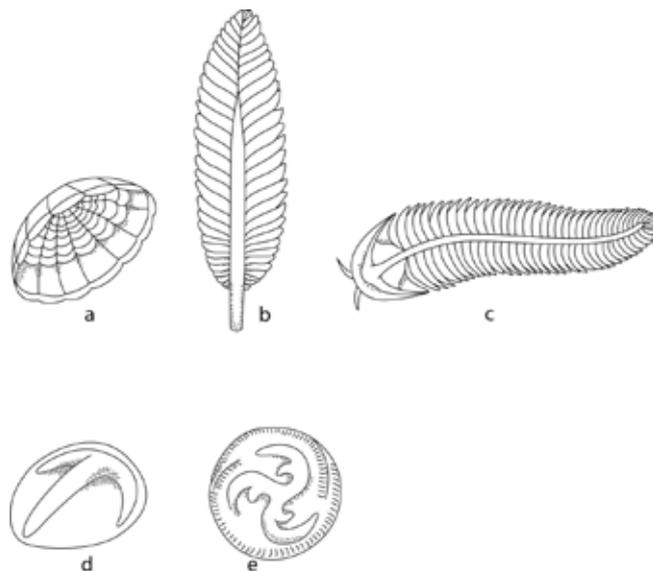
Trois questions qui nous préoccupent :

1. Quelle est l'origine évolutive des Panarthropodes?
2. Quelle est la diversité existante au sein des Panarthropodes?
3. Quelles sont les relations de parenté entre les Panarthropodes et les autres groupes étudiés ?

Art 4.1. Rappel des principales questions concernant l'origine, l'évolution et la diversification des Métazoaires.

C'est dans le phylum des Panarthropodes que l'on trouve la majorité des espèces vivantes sur terre. Près d'un million d'espèces ont été décrites au sein de ce groupe, ce qui représente plus de 85 % de toutes les espèces connues. Il y en aurait bien plus encore à découvrir puisque l'on estime le nombre d'espèces de Panarthropodes est situé dans une fourchette de 5 à 50 millions. Ils ont conquis pratiquement tous les habitats: marin, dulçaquicole et terrestre; ils sont sans doute les organismes qui ont eu le plus de succès sur Terre.

Vu leur abondance et la diversité des formes la systématique des Panarthropodes est complexe, il ne nous sera pas possible de décrire tous les groupes. Par contre, nous allons tenter de répondre à nos trois questions de base et nous allons donner une vision la plus synthétique possible de ce que l'on connaît de leur positionnement phylogénétique actuel.



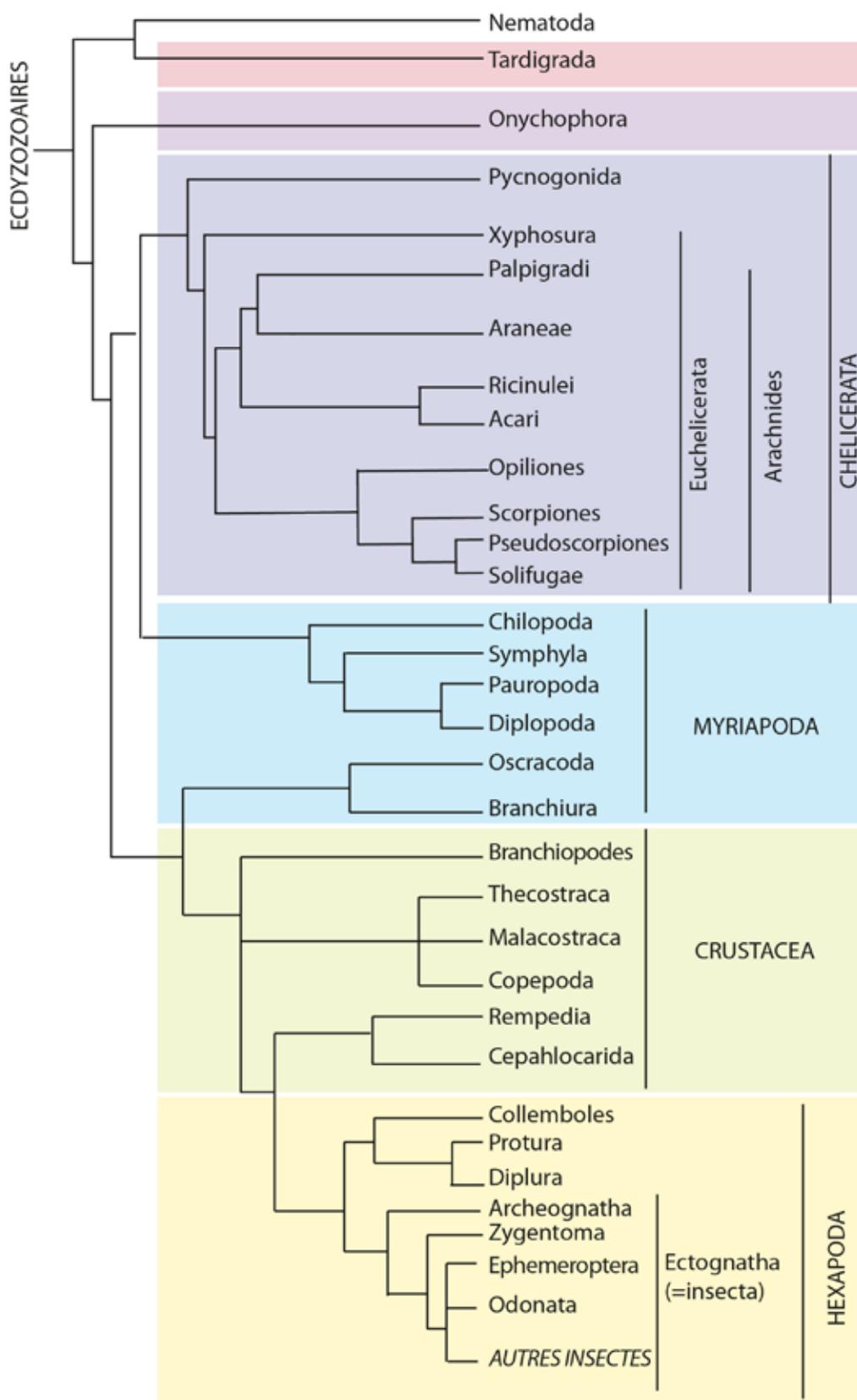
Art 4.2. Diversité des invertébrés fossiles trouvés dans les schistes de Burgess. « C » est un Panarthropode primitif vraisemblablement.

4.1. ORIGINE ÉVOLUTIVE DES PANARTHROPODES

Les gisements fossiles du schiste de Burgess en Colombie Britannique, de Chengjiang du sud de la Chine et de Sirius Passet dans le nord du Groenland offrent des informations sur l'évolution des Panarthropodes. Les premiers Panarthropodes incontestables apparaissent au Cambrien inférieur, à -570 millions d'années environ, au début de l'ère primaire.

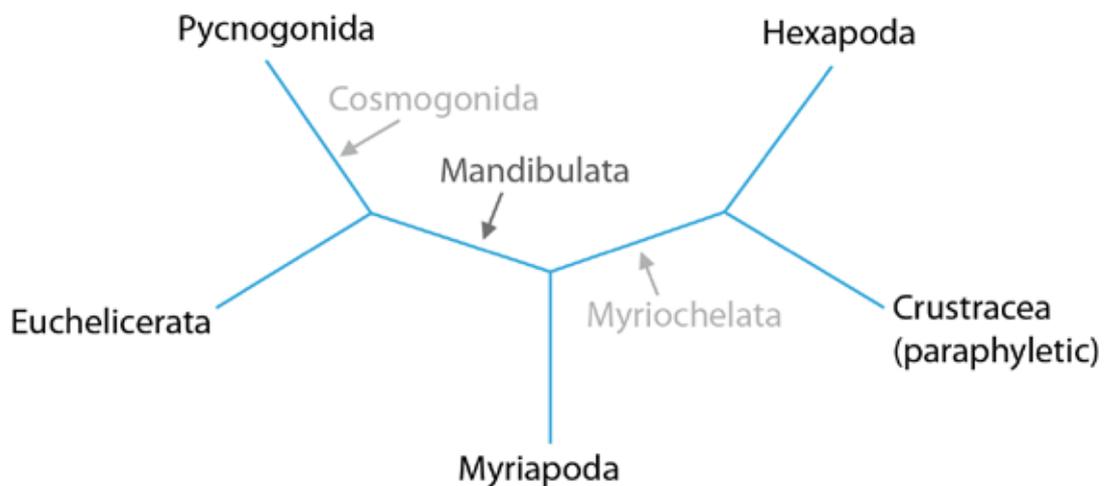
Les découvertes du schiste de Burgess en Colombie Britannique montrent qu'il y a 540 millions d'années, les formes d'Panarthropodes foisonnent et sont déjà étonnamment complexes et spécialisées. C'est ce que l'on appelle l'explosion du Cambrien, c'est-à-dire une diversification surprenante des formes de vie qui s'est déroulée sur un laps de temps relativement court par rapport au temps géologique. Cette diversité des plans fondamentaux d'organisation du vivant s'appelle la disparité. Peut-être est-ce le résultat de l'absence de compétition qui devait exister avant que toutes les niches écologiques des mers du Cambrien ne soient occupées? A ce moment, toute forme nouvelle avait une chance de se maintenir. D'autres hypothèses ont également été émises.

La plupart de ces premiers Panarthropodes se sont rapidement éteints, sans doute parce que les animaux les moins bien adaptés ont été remplacés par d'autres probablement mieux adaptés, ainsi, le nombre de morphologies de base, fondamentalement différentes, a-t-il progressivement diminué. Au cours de l'évolution, on assiste donc à une diminution de la disparité et à une augmentation de la diversité au sein des plans d'organisation qui se sont maintenus. Il semble que le groupe souche des Panarthropodes pourrait être celui des Anomalocarididea (avec les fossiles de *Anomalocaris* et *Hurdia*) et celui des *Opabinia* qui disposent déjà d'yeux pédonculés à facettes mais pas encore d'un exosquelette rigidifié. Néanmoins, les relations phylogénétiques au sein des groupes fossiles restent particulièrement difficiles à établir. Au Cambrien, deux groupes de fossiles sont déjà clairement morphologiquement distincts: les Crustacés et les Trilobites.



Art 4.3. Arbre phylogénétique montrant la diversité et les relations évolutives des Panarthropodes

Sur base du séquençage de l'ARN ribosomique 18S, on a pu montrer pour la première fois que les Panarthropodes se rapprochent des Nématodes et d'autres animaux caractérisés par l'existence d'au moins une mue (Ecdysis) au cours du développement. Cette nouvelle façon de voir les relations phylogénétiques sera ensuite confirmée par d'autres études réalisées sur d'autres marqueurs moléculaires. Au sein des Ecdyzozoaires (les animaux qui muent), ont tous la caractéristique de disposer d'appendices pairs segmentés et placés ventro-latéralement sur chaque segment. Cette caractéristique commune plaide donc en faveur d'un ancêtre commun pour ces groupes, même si les relations exactes de parentés entre les trois clades restent mal définies.



Art 4.5.. L'arbre phylogénétique, non enraciné, des Panarthropodes

Au sein des Euarthropodes, la plupart des auteurs sont maintenant d'accord sur la monophylie des espèces possédant des mandibules et rassemblées dans le groupe des Mandibulates, alors que les espèces possédant des chélicères forment le clade des Chélicérates. Les Myriapodes sont également considérés comme un groupe monophylétique que cela soit sur le plan des analyses moléculaires ou sur le plan morphologique. Les relations exactes entre les différents groupes restent difficiles à ancrer comme le montre l'arbre phylogénétique non enraciné.

■ TP Panarthropodes (8 h)

OBJECTIFS :

1. Mise en relation des coupes avec les fonctions des organes, structures et la morphologie des individus complets
2. Identification des critères morphologiques caractérisant l'embranchement
3. Mise en évidence des adaptations morphologiques/anatomiques au milieu de vie
4. Identification des individus proposés à l'aide d'une clé dichotomique simplifiée
5. Application : le calcul de l'indice biotique de la rivière du bois de Lauzelle

INTRODUCTION :

Les Euarthropodes, sont des **Métazoaires triploblastiques coelomates protostomes (hyponeuriens) à symétrie bilatérale et axe antéro-postérieur.**

Leurs métamères, porteurs d'**appendices pairs articulés**, ont tendance à se regrouper en régions fonctionnelles distinctes.

Le système circulatoire comporte un organe propulseur : le **ventricule ou vaisseau dorsal**. Il est ouvert et ses lacunes fusionnent avec les cavités coelomiques (**hémocoèle**).

Le système nerveux comporte une **double chaîne ganglionnaire**.

Les muscles principaux sont striés.

L'ectoblaste embryonnaire donne un **hypoderme unistratifié** qui sécrète un **squelette chitineux**, restant en grande partie externe (**exosquelette**), rejeté périodiquement au cours de la croissance post-embryonnaire (mue), puis reformé.

1. 1er modèle d'étude : l'écrevisse

1.1. Dissection

Servez-vous du fichier de présentation du TP disponible sur la plateforme de cours de l'UCL, avec les photos des différentes étapes de la dissection.

Examen externe

Axe antéro-postérieur, symétrie bilatérale, exosquelette annelé, présence d'**appendices métamériques pairs articulés**, ... sont autant de caractères des Panarthropodes directement observables.

Le type de regroupement de segments en régions et la présence d'appendices articulés sur l'abdomen, notamment d'appendices biramés, indique qu'on a affaire à un **crustacé Eumalacostracé**. La céphalisation des 3 premiers métamères thoraciques, c'est-à-dire leur annexion à la tête, ne laisse que 5 métamères thoraciques porteurs de pattes uniramées, ce qui le classe dans les décapodes.

La région antérieure regroupe **tête** et **thorax**. Sur le **céphalothorax** vous devez repérer :

- Le **rostre** (sorte de pique pointée vers l'avant)
- Les **yeux** pédonculés
- Les **glandes antennaires** dont la fonction est
- Les 2 **antennes** biramées
- Les deux **antennules** (petites antennes) biramées
- Les pièces buccales :
 - 1 paire de **mandibules** blanches et très dures avec, au centre, la bouche
 - 2 paires de **maxilles** biramées
- Les appendices locomoteurs
 - 3 paires de **gnathopodes** dont le 1er ressemble à une
 - 5 paires de **périopodes**, dont la première paire est appelée communément

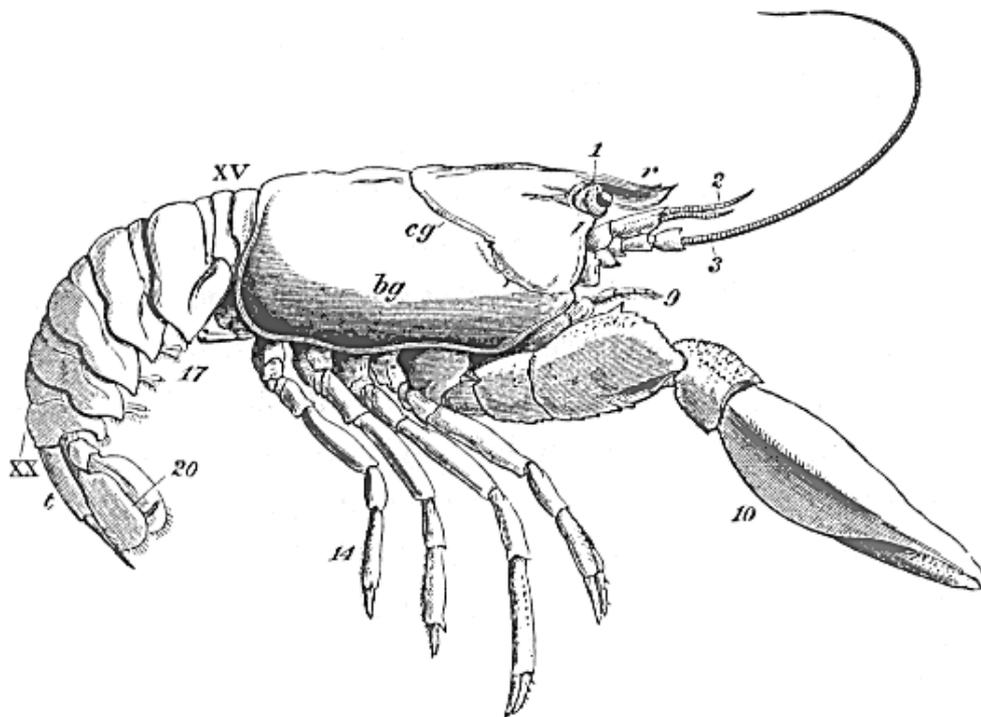
Ce **céphalothorax** est recouvert dorsalement et latéralement par une carapace, extension des **tergites** céphaliques soudés, les bords latéraux ménageant de chaque côté une cavité abritant les branchies : il s'agit des **chambres branchiales**.

C'est aussi là que l'on observe les organes génitaux mâles et femelles :

- Chez le mâle on observe un gonopore sur le 5ème périopode et le 1er pléopode est modifié en
- Chez la femelle on observe un gonopore sur le 3ème périopode et le 1er pléopode est modifié en

L'examen externe d'un **métamère abdominal** permet de distinguer les principaux constituants du squelette : **tergite** dorsal, **sternite** ventral et **pleurites** latéraux. Il comporte également les appendices appelés pléopodes.

L'abdomen comprend 6 métamères et le **telson**. Le dernier métamère, avec ses appendices (uropodes) et le telson, forment une palette natatoire. Le telson porte **l'anus** ventralement.



1° temps de dissection

- Introduire une pointe de ciseaux sous le bord postérieur de la carapace et inciser jusqu'au rostre en suivant le tracé des sillons cardio-branchiaux.
- Soulever le segment de carapace ainsi isolé et l'enlever, après avoir dégagé les adhérences des organes sous-jacents au scalpel.

Observer d'arrière en avant :

- le système circulatoire, translucide : **cœur et 3 artères** (que l'on met en évidence en soulevant le cœur)
- le système génital mâle ou femelle: **gonade** impaire légèrement en avant du cœur, se prolongeant vers les pores génitaux par des conduits génitaux

A quoi ressemblent les gonades femelles ?

.....
.....

A quoi ressemblent les gonades mâles ?

.....
.....

- des faisceaux de **muscles**,
- le système digestif :
 - **œsophage vertical**
 - **estomac, avec le moulin gastrique de couleur**
 - **glande digestive de couleur**
 - **intestin de couleur** **car**
 -
 -
- le **système excréteur urinaire** : glandes urinaires débouchant aux pores urinaires des antennes.

2° temps de dissection

- Ouvrir une chambre branchiale en découpant la région latérale de la carapace.

Observer la disposition des **branchies** et leur point d'attache : sur le **pleurite** (pleurobranchies), un segment d'appendice métamérique (podobranhies) ou une membrane arthrodiiale (arthrobranchies).

3° temps de dissection

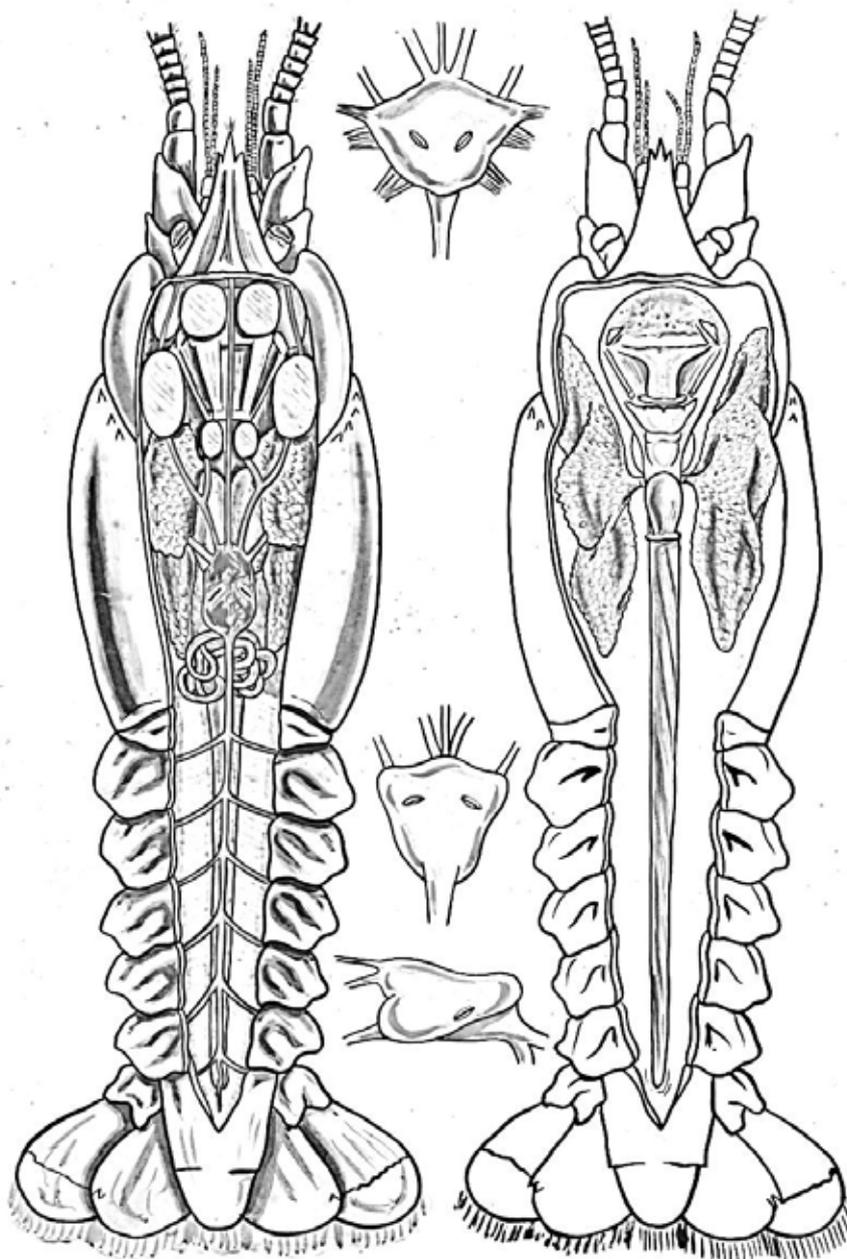
- Découper un volet longitudinal dans les tergites abdominaux et l'ôter, comme précédemment.

Suivre le trajet abdominal de l'**intestin** jusqu'à l'**anus** au milieu des **muscles abdominaux**.

4° temps de dissection

- *Oter tous les viscères étudiés et les muscles.*

Observer le système nerveux : **chaîne nerveuse ganglionnaire** à la face ventrale.



1.2. Coupe transversale de l'écrevisse

- Remplacez les éléments vus à la dissection dans le schéma fourni. Orientez-le, précisez les rôles et l'origine embryonnaire des différents organes/structures
- Tracez le niveau de coupe sur le schéma de l'individu entier
- Faites des dessins détaillés à plus fort grossissement (zoom sur la coupe) si nécessaire

La préparation, de forme plus ou moins circulaire, présente une **symétrie bilatérale** par rapport à l'axe dorso-ventral.

La **paroi externe** du corps est constituée par l'**exosquelette** sécrété par l'**hypoderme** sous-jacent. On y reconnaît les plaques fondamentales : **tergite** dorsal, **pleurites** latéraux et **sternite** ventral. Le tergite présent est complexe car il fait partie de la **carapace céphalothoracique**, qui forme de vastes expansions latérales protégeant les **branchies** : elle constitue la paroi externe des **chambres branchiales**. Ces chambres communiquent avec l'extérieur par l'ouverture ventrale (bien visible sur la partie droite de la coupe présentée ci-dessous). Leur limite interne est constituée des pleurites et de la partie basale des **appendices locomoteurs**.

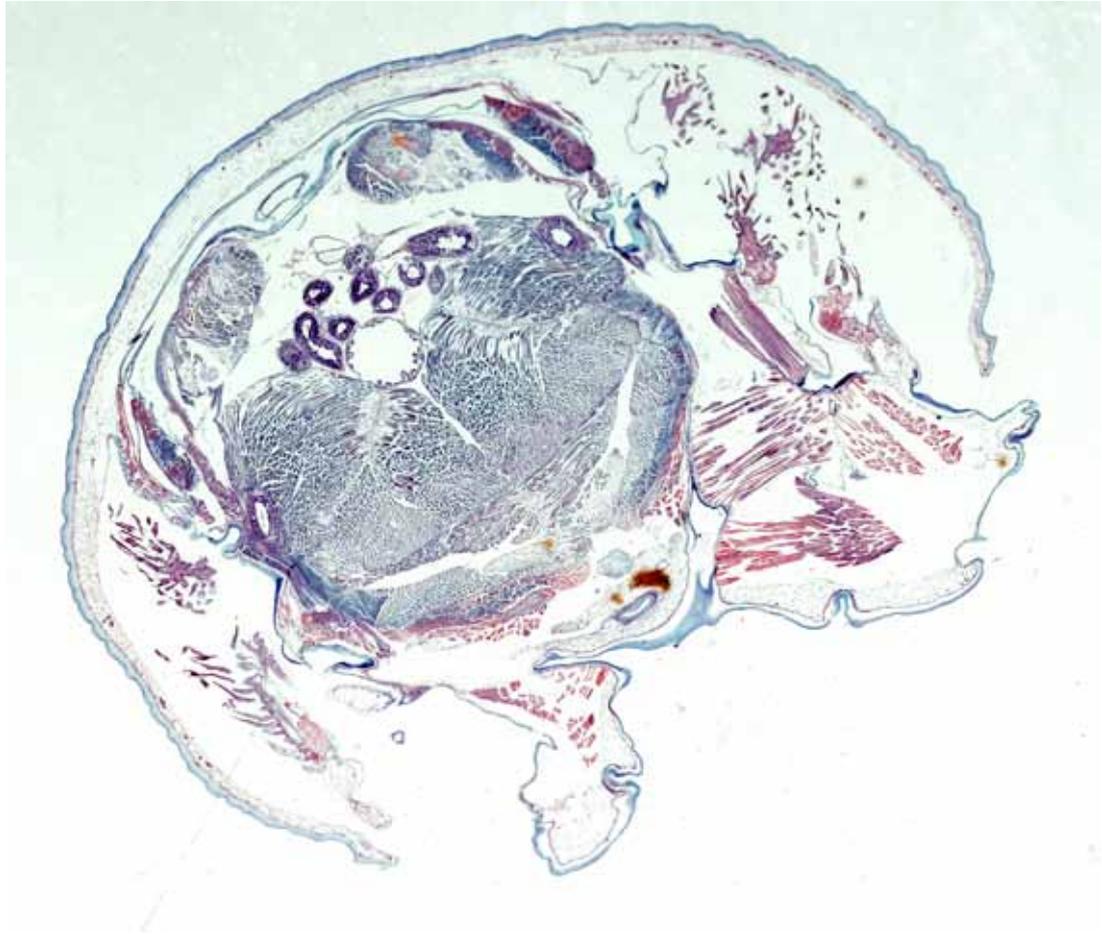
L'**hypoderme** est un épithélium unistratifié. Il est tapissé, à sa face interne, par des tissus d'origine mésodermique qui ne forment pas des couches d'épaisseur uniforme. Ce sont principalement des enveloppes et des faisceaux musculaires présentant diverses orientations. Certains de ces faisceaux s'attachent au squelette, dont certaines parties sont internalisées : ce sont les **apodèmes**.

La cavité générale du corps est un **hémocoèle**.

Dans la région moyenne du thorax, sur le plan médian, on trouve une section transversale du **tube digestif**. Cette section est entourée de sections plus ou moins nombreuses des **glandes digestives** et/ou de **lobules testiculaires** creux. Tout cet ensemble est environné de masses musculaires dont les faisceaux sont coupés suivant diverses orientations.

Le système circulatoire y est principalement représenté par 1 ou 3 **vaisseaux dorsaux** (ou le cœur selon l'endroit de la coupe – rappelez-vous de la dissection), et l'**hémocoèle**.

En face ventrale, on trouve la **chaîne nerveuse** ganglionnaire. Les coupes montrent soit une section dans les **ganglions fusionnés**, soit les deux sections des **connectifs** (là encore rappelez-vous de la dissection).



Faites un zoom sur la paroi du corps

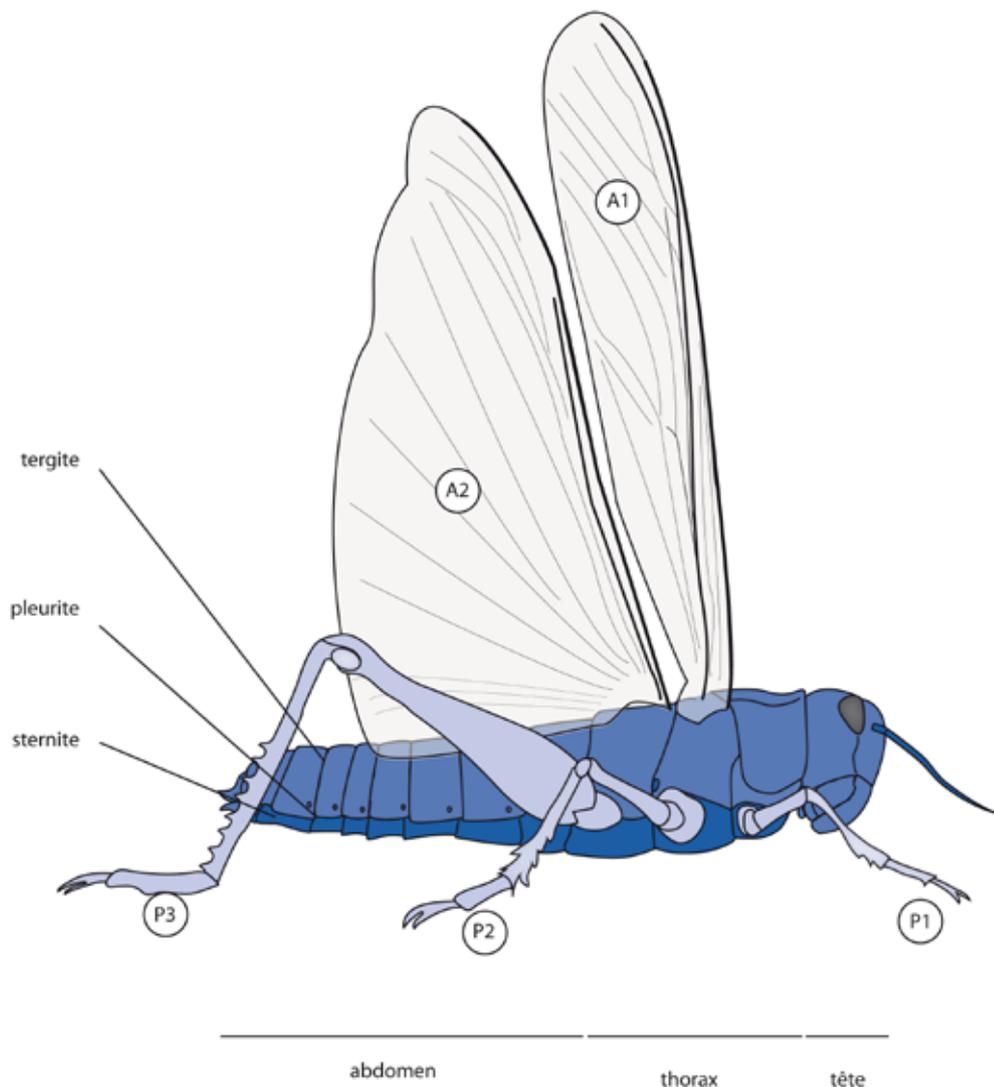
De quelle couleur sont les apodèmes? Comment l'expliquez-vous?

A-t-on des lobules testiculaires ou de la glande digestive sur cette coupe ? Comparez différentes coupes et schématisez la structure invisible ici pour vous en souvenir.

2. Modèle d'étude n°2 : le criquet

2.1. Dissection

Servez-vous du fichier de présentation du TP avec les photos de différentes étapes de la dissection



Examen externe

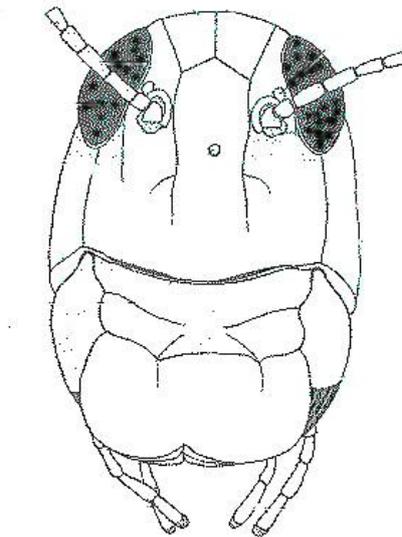
Corps

- de forme allongée, à **symétrie bilatérale** et **axe antéro-postérieur**,
- de couleur variable (beige ponctuée),
- couvert d'un **exosquelette** chitineux articulé (pièces rigides et membranes souples) ;
- régionalisé : **tête, thorax, abdomen**,
- **métamérisé** : segments dont certains sont fusionnés (ex. tête) ou réduits ;
- portant des appendices métamériques pairs articulés : simples ou segmentés.

Tête

- les **yeux** composés latéraux bien développés et 3 **ocelles**
- 1 paire d'**antennes** filiformes courtes
- le **labre**,
- les **mandibules** et la **bouche**,
- les **maxilles** et les palpes maxillaires
- le **labium** et les palpes labiaux

Les pièces buccales sont donc du type broyeur.



Thorax formé de 3 métamères : prothorax, mésothorax et métathorax

- l'**exosquelette** de chaque métamère comporte un **tergite** (dorsal), un **sternite** (ventral) et deux **pleurites** (latéraux)
- notez que le tergite du prothorax s'appelle le **corselet**
- chaque métamère porte une paire de **pattes (notées p)** :
- en outre il y a 2 paires d'ailes :
 - sur le mésothorax : ailes sclérifiées = élytres dont la fonction est de
 -
 - sur métathorax : ailes **membraneuses** (adaptées au vol)
- présence d'une paire de stigmates sur les pleurites, à la jonction mésothorax et du métathorax. Leur fonction est de
-
- présence d'**organes de stridulation**, très développés chez les mâles, réduits chez les femelles qui ressemblent à
-

Abdomen formé embryologiquement de **11 métamères** et du **telson** :

- A1 : très spécialisé et intimement uni au thorax, porte latéralement une paire d'**organes tympaniques**,
- A2 à 8 très semblables, chacun possède un exosquelette de forme annulaire (tergite et sternite reliés par des membranes souples) avec une paire de **stigmates latéraux**,
- A9 à A11 forment l'extrémité de l'abdomen.

Chez les femelles : l'appareil génital externe ou **ovopositeur** est constitué de trois paires de valves
Chez les mâles : les genitalia ou pièces génitales mâles y sont logées (rétractées).

Notez ici vos autres observations

Examen interne

- Coupez les ailes
- Découpez le **corselet** et observez, en dessous, une fine membrane blanche délimitant le **sac aérien**. Si vous ne voyez pas de membrane mais un trou noir, c'est que vous avez cassé cette membrane et que vous voyez donc l'intérieur du sac ! Rappelez-vous bien de cela pour comprendre la coupe transversale !
- Incisez ensuite les deux segments thoraciques suivants
- Ecartez-les et épinglez-les
 - Vous observez les muscles des ailes en brun clair.
- Continuez l'incision jusqu'à la fin de l'abdomen et écartez les bords.
 - Vous observez différentes structures : notez leur couleur, leur texture, leur fonction, leur origine embryonnaire...

Structure	Couleur/texture	Fonction	Origine embryonnaire	Remarques personnelles
Tube digestif				
Graisse				
Trachées				
Tubes de Malpighi				
Apodèmes				

2.2. Coupe transversale du criquet

- Remplacez les éléments vus à la dissection dans le schéma fourni. Orientez-le, précisez les rôles et l'origine embryonnaire des différents organes/structures
- Tracez le niveau de coupe sur le schéma de l'individu entier
- Faites des dessins détaillés à plus fort grossissement (zoom sur la coupe) si nécessaire

La coupe, plus ou moins circulaire, présente une **symétrie bilatérale**.

La **paroi du corps** est constituée d'une cuticule encore mince (rouge ici), l'**exosquelette**, sécrété par l'**hypoderme** sous-jacent. Certaines invaginations du squelette correspondent à des **jonctions métamériques**, d'autres à des parties de l'endosquelette, les apodèmes.

L'intérieur du corps est constitué par un vaste **hémocoèle** contenant l'hémolymphe et diverses structures.

Près de la paroi dorsale du corps, dans le **compartiment dorsal de l'hémocoèle**, on trouve des **faisceaux de muscles striés** recoupés suivant différentes orientations. Entre les massifs musculaires les plus dorsaux, on observe la petite section, tantôt triangulaire, tantôt quadrangulaire, du **vaisseau dorsal**. Malgré sa petite taille, on peut reconnaître la structure contractile de sa paroi.

Ensuite, on retrouve le **sac aérien**, à ne pas confondre avec un des compartiments de l'hémocoèle, souvenez-vous de la dissection !

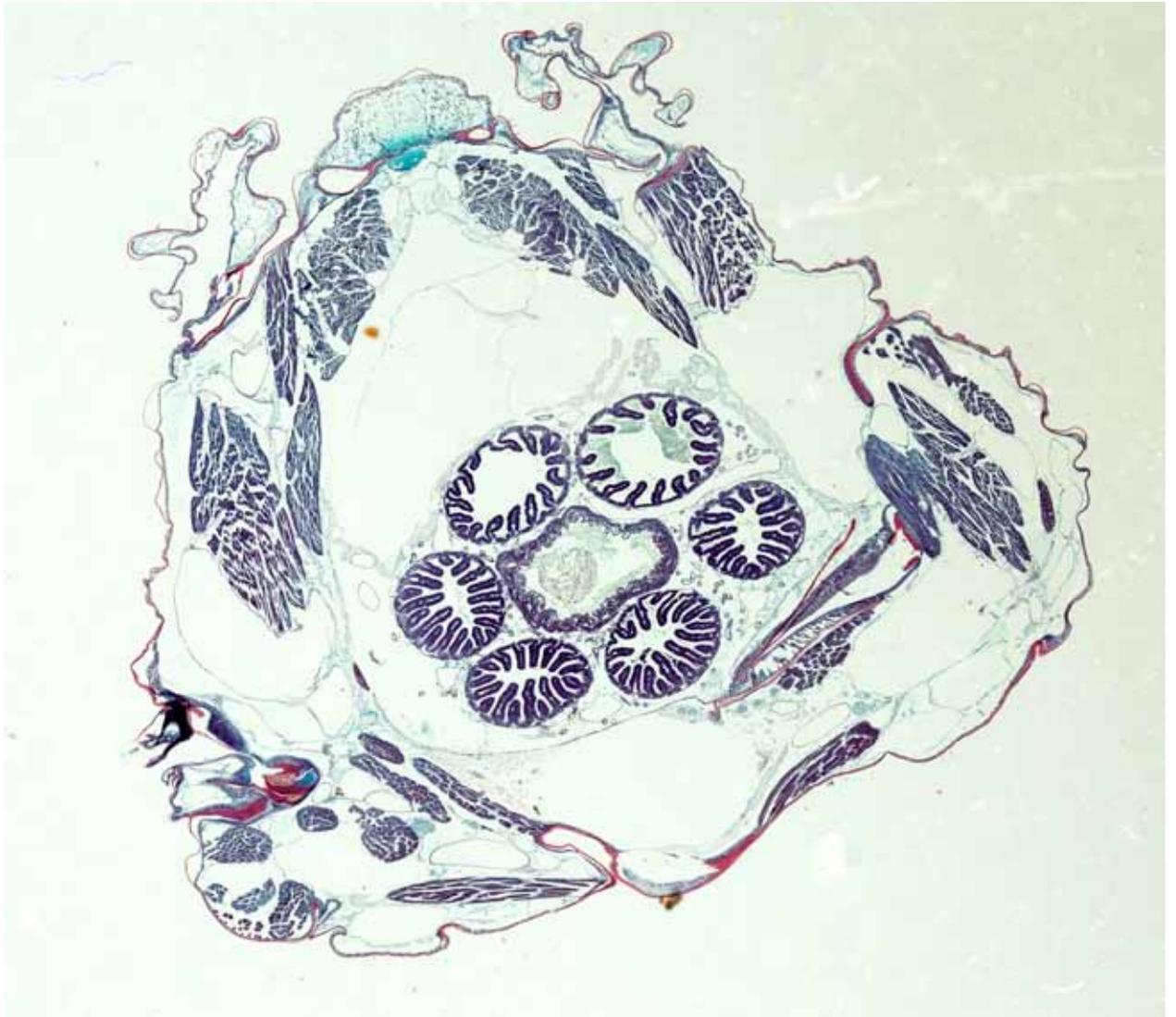
Un **diaphragme ventral**, incomplet, démarque les deux autres compartiments de l'hémocoèle. Le **compartiment médian** est principalement occupé par les viscères. Au niveau étudié, il s'agit surtout du **tube digestif**, ici le **gésier**. Le **mésentéron** est représenté par des coupes dans les **caeca** (rappelez-vous de la coupe longitudinale de l'audio-visuel). Rabattus vers l'avant, les caeca entourent la section du stomodéum, l'ensemble formant une rosace.

C'est au voisinage du tube digestif que l'on repérera le plus facilement les coupes, de très petits calibres, des **tubes de Malpighi**. Leur paroi, formée d'une assise cellulaire, est plus épaisse que celle des trachées de même taille. Les **trachées** sont ces invaginations tubulaires ectodermiques présentent intérieurement un support chitineux généralement spiralé.

Il y a parfois des sections rubanées de **tissu adipeux** encore peu différencié, c'est-à-dire peu chargé de réserves.

Le **compartiment ventral** de l'hémocoèle renferme la **chaîne nerveuse ganglionnaire** double entourée d'une gaine de tissu adipeux. Cependant, en fonction des coupes, la chaîne nerveuse n'est pas toujours observable, mais on peut retrouver dans cette région des coupes dans les **nerfs**.

Sur certaines coupes, observez les attaches des ailes ou des pattes !



Comparez les structures des **tubes de Malpighi** et des **trachées** en les **dessinant**

Faites des **zooms** aux endroits clés de la coupe

3. Critères caractérisant les Euarthropodes sur base de vos observations et des données du cours multimédia. Quelle est la grande nouveauté dans ce groupe ?

4. Diversité des Euarthropodes et création d'une clé dichotomique pour la classification des individus présentés (travail par groupe – 2h)

L'objectif de ce TP est de vous faire découvrir une partie de la diversité des Panarthropodes *via* la création d'une **clé dichotomique** permettant de les classer.

Pensez à bien préparer la séance en étudiant la partie diversité des Panarthropodes !

Ce travail sera réalisé en groupe et vous sera expliqué en début de séance.

Décrivez ici les individus qui vous ont été proposés – vous pouvez réaliser des schémas pour vous permettre de mieux les mémoriser et indiquer les éléments morphologiques qui vous ont aidé à les identifier.

Décrivez ici les individus qui vous ont été proposés (suite)

Décrivez ici les individus qui vous ont été proposés (suite)

Réalisez ici votre clé dichotomique !

5. Calcul de l'indice biotique de la rivière du bois de Lauzelle (2h)

INTRODUCTION

Les macroinvertébrés des rivières forment une partie importante des écosystèmes d'eau douce. Ils servent de nourriture à de nombreuses espèces de poissons, d'amphibiens, de reptiles...

Ces organismes possèdent des sensibilités variables à différents stress comme, par exemple, la pollution. C'est pourquoi ils sont souvent utilisés pour évaluer la qualité d'un cours d'eau. En partant de la constatation que les populations d'Invertébrés benthiques sont tributaires de la qualité de l'eau et, plus précisément, de son taux d'oxygénation, on peut donc se baser empiriquement sur la qualité et la diversité de cette faune d'Invertébrés pour apprécier la qualité de l'eau :

- La présence de groupes très exigeants en O₂: perles ou éphémères ecydonurides est un gage de qualité,
- au contraire, leur disparition, associée à la prolifération de décomposeurs tels que l'aselle ou les chironomes indiquent une pollution de type organique.

OBJECTIF

Lors de cette séance de TP, vous allez travailler par groupe sur un échantillonnage de macro-invertébrés réalisé dans la rivière du bois de Lauzelle. Les animaux ont été conservés dans l'alcool.

Votre **but** est de **calculer l'indice biotique** de cette rivière, et donc d'évaluer son degré de pollution.

DEROULEMENT

Pour cela nous vous demandons par groupe de :

- **trier** les organismes par grand groupe taxonomique (Embranchement) sur base de vos **connaissances** acquises tout au long de ce quadrimestre et d'être capable de **justifier** les critères morphologiques qui vous ont permis de le faire
- une fois l'embranchement déterminé, demandez les documents d'identification aux assistants. Utilisez alors les clés mises à votre disposition afin d'**identifier le plus finement possible** les organismes. Vérifiez aussi que l'embranchement est le bon !
- **remplir** le tableau 1 (le nombre d'individus trouvés par groupe taxonomique est noté sur le flacon. Par exemple: « échantillon 1, n = 10 » signifie que, lors de notre échantillonnage, nous avons trouvé 10 individus morphologiquement identiques à celui présent dans le bocal)
- **calculer l'indice biotique** :

Une fois le tri effectué et une liste faunistique établie, on déterminera :

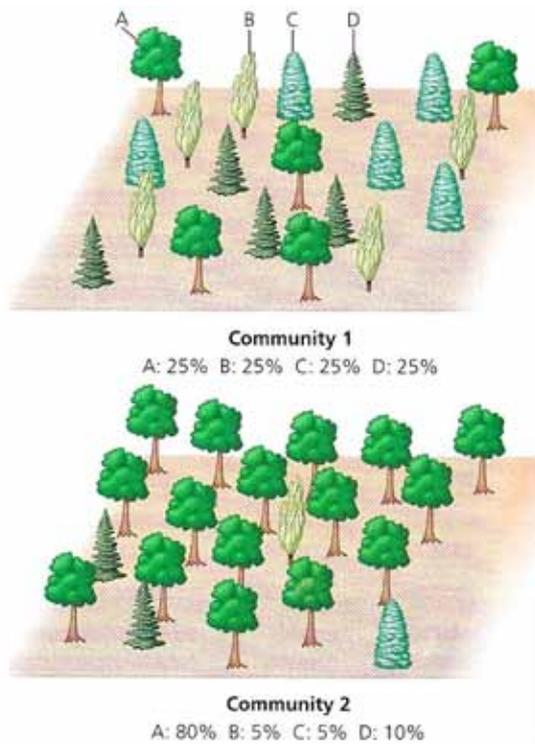
- La variété taxonomique (St) c'est-à-dire le nombre total de taxons identifiés, quelque soit le nombre d'individus trouvés par taxon.
- Le groupe indicateur (G.I.) le plus «polluosensible» c'est-à-dire le taxon indicateur ayant une présence significative sur la station et possédant l'indice le plus élevé possible.

Tableau 2. Calcul de l'indice biotique IBGN

Taxons	GI	St													
		>50	49 à 45	44 à 41	40 à 37	36 à 33	32 à 29	28 à 25	24 à 21	20 à 17	16 à 13	12 à 10	9 à 7	6 à 4	3 à 1
<i>Chloroperlidae</i> <i>Perlidae</i> <i>Perlodidae</i> <i>Taeniopterygidae</i>	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
<i>Capniidae</i> <i>Brachycentridae</i> , <i>Odontoceridae</i> <i>Philopotamidae</i>	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
<i>Leuctridae</i> <i>Glossosomatidae</i> , <i>Beraeidae</i> <i>Goeridae</i> <i>Leptophlebidae</i>	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
<i>Nemouridae</i> <i>Lepidostomatidae</i> <i>Sericostomatidae</i> <i>Ephemeridae</i>	6	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
<i>Hydroptilidae</i> <i>Heptageniidae</i> <i>Potamitarcidae</i> <i>Potamanthidae</i>	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
<i>Leptoceridae</i> <i>Polycentropodidae</i> , <i>Psychomyidae</i> <i>Rhyacophilidae</i>	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
<i>Limnephilidae</i> <i>Hydropsychidae</i> <i>Ephemerellidae</i> <i>Aphelocheiridae</i>	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
<i>Baetidae</i> <i>Caenidae</i> <i>Elmidae</i> <i>Gammaridae</i> Mollusques	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
<i>Chironomidae</i> <i>Asellidae</i> Achètes,Oligochètes	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Selon le nombre de taxons indicateurs, on attribue une note de qualité hydrobiologique variant de 1 à 20.

IBGN	>17	16-13	12-9	8-5	<4
	excellente	bonne	passable	médiocre	mauvaise



Comme vous pouvez le constater, l'indice biotique initial dépend fortement des densités relatives des différentes espèces échantillonnées. Vous allez pouvoir bien comprendre l'importance de prendre en compte le nombre d'individus échantillonné par espèce, en calculant l'estimateur de diversité biologique le plus connu en Ecologie, le fameux Indice de Shannon.

Une « communauté » en écologie définit l'ensemble des espèces vivant en interaction les unes avec les autres dans un même habitat, comme par exemple une portion de rivière ou une forêt. Pour estimer la biodiversité associée à une communauté, connaître le nombre d'espèces ne suffit pas. Il faut un paramètre qui tient en compte le nombre d'individus par espèce, c'est-à-dire de la rareté ou de l'abondance de chaque espèce, comme vous allez pouvoir vous en rendre compte avec l'exemple suivant, ci-dessous. L'indice de Shannon-Weaver décrit cette diversité spécifique, que nous allons d'abord calculer pour les deux communautés forestières représentées ci-dessous, et que vous pourrez ensuite calculer pour votre échantillon d'eau de rivière.

Fig. : Composition de deux communautés forestières. Étant donné les pourcentages associés à chaque espèce de la communauté (A, B, C et D), on sait que pour 100 individus, la communauté 1 est formée de 25 A, 25 B, 25 C, 25 D, tandis que la communauté 2 est formée de : 80 A, 5 B, 5 C, 10 D.

Les deux communautés sont donc représentées par la même composition en espèces (4 espèces). Cependant, avez-vous le sentiment que la biodiversité des deux forêts est la même ?

Non.... L'indice de Shannon permet de quantifier la diversité spécifique plus grande de la communauté 1 par rapport à la communauté 2 :

$$H = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

Avec H = l'indice de Shannon

n_i = nombre d'individus par espèce

N = le nombre total d'individus dans la communauté

$i = 1$ à S , étant la suite les espèces présentes dans la communauté.

Il s'agit donc de faire la somme des « $n_i/N \times \ln(n_i/N)$ » pour l'ensemble des espèces de la communauté, pour connaître H .

Pour pouvoir comparer l'indice de Shannon entre communautés qui diffèrent dans la composition en espèces les unes par rapport aux autres, on :

- 1) calcule H_{max} , qui est la valeur maximale de l'indice de Shannon dans chaque communauté :
- 2) divise H par H_{max} et multiplie le résultat par 100 : on obtient ainsi la biodiversité spécifique d'une communauté mesurée en pourcentage par rapport à la biodiversité maximale possible pour cette communauté, en pourcents.

Faisons l'exercice pour les deux forêts :

Communauté	n_1^*	n_2	n_3	n_4	N	S	H	H_{max}	H/H_{max}
communauté 1	25	25	25	25	100	4	1,39	1,39	1
communauté 2	80	5	5	10	100	4	0,71	1,39	0,51

*: Nbre ind espèce 1

Et voilà ! On voit bien que l'indice de Shannon dépend fortement de l'abondance de chaque espèce échantillonnée, puisqu'il varie du simple au double entre les communautés 1 et 2, qui pourtant ont la même composition en espèces (4 espèces distinctes).

Faites de même maintenant pour calculer l'indice de diversité de votre échantillon d'eau.