

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de
l'Univers



Département: Ecologie et Génie de l'Environnement

Polycopié support pédagogique soutient au cours

Matière: Entomologie

Master 1 Biodiversité et Environnement

Dr. Mouna Aouissi-Cherairia

2017

Présentation

L'**Entomologie** est la branche de la zoologie dont l'objet est l'étude de l'insecte (du grec: entomos: insecte, logos : discours): son anatomie, sa physiologie, sa biologie mais aussi sa reproduction et son développement.

Les objectifs pédagogiques de ce module, qui est illustré de photos et de schémas, se résument comme suit :

- Maîtriser les différents traits se rapportant à la morphologie des insectes.
- Comprendre les différentes caractéristiques biologiques des insectes.
- Utiliser facilement les clés de systématique en entomologie.
- Offrir une formation portant sur la systématique et l'écologie des différents ordres d'insectes notamment les insectes aquatiques et leurs adaptations.

Au sommaire des chapitres :

- Introduction et historique
- Morphologie et Anatomie interne
- Développement des insectes
- Taxonomie des insectes
- Ecologie et adaptation au milieu aquatique
- Etudes de différents ordres d'insectes, leur systématique et identification.

Les différents chapitres composant le programme de la matière sont présentés sous forme de diapositives présenté conjointement avec des photocopies qui sont fournis aux étudiants, auxquels, une analyse d'articles scientifiques est périodiquement attribuée. Des livres qui sont misent en réserve à la bibliothèque de la faculté des sciences de la nature et de la vie sont excellents pour le cours.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Chapitre I: Introduction et historique | 1 |
| 1. Historique | 1 |
| 2. Diversité des insectes | 1 |
| 3. Abondance des insectes | 2 |
| 3.1. Exosquelette | 2 |
| 3. 3. Capacité d'adaptation | 2 |
| 3.4. Métamorphose | 3 |
| 4. Rôle des insectes dans la nature | 3 |
| Chapitre II: Morphologie et anatomie interne | 5 |
| Généralités | 5 |
| 1. Morphologie | 5 |
| 1.1. Tête | 5 |
| 1. 1. 1. Régions crâniennes | 5 |
| 1. 1. 2. Appendices céphaliques | 6 |
| a. Antennes | 6 |
| 1. Structure | 6 |
| 2. Forme | 9 |
| b. Yeux | 10 |
| 1. Yeux composés | 10 |
| 2. Ocelles | 11 |
| c. Appareil buccal | 12 |
| 1. Structure de l'appareil buccal | 12 |
| 2. Types d'appareil buccal | 12 |
| a. Type broyeur | 14 |
| b. Type broyeur-lécheur | 14 |
| c. Type suceur | 14 |
| 3. Modifications particulières de l'appareil buccal | 18 |
| 1. 2. Thorax | 19 |
| 1. 2. 1. Exosquelette thoracique | 19 |
| a. Pièces dorsales | 19 |
| b. Pièces ventrales | 19 |
| c. Pièces latérales | 19 |

| | |
|---|-----------|
| 1. 2. 2. Appendices thoraciques | 19 |
| a. Pattes | 19 |
| 1. Types de pattes | 21 |
| b. Ailes..... | 21 |
| 1. 3. Abdomen | 23 |
| 1. 3. 1. Appendices abdominaux | 25 |
| 2. Anatomie interne | 25 |
| 2. 1. Tégument | 26 |
| 2. 2. Système nerveux | 27 |
| a. Cerveau | 27 |
| b. Ganglion sous-œsophagien | 27 |
| c. Chaîne nerveuse ventrale | 28 |
| 2. 3. Système circulatoire | 28 |
| a. Hémolymphe | 28 |
| 2. 4. Appareil digestif | 30 |
| 2. 5. Appareil respiratoire | 32 |
| a. Trachées | 32 |
| b. Stigmates | 32 |
| 2. 6. Système excréteur | 36 |
| a. Tubes de Malpighi | 37 |
| b. Cellules péricardiaques et néphrocytes | 37 |
| c. Reins céphaliques | 38 |
| 2. 7. Appareil reproducteur | 38 |
| a. Appareil reproducteur femelle | 38 |
| b. Appareil reproducteur mâle | 39 |
| c. Type de reproduction | 39 |
| Chapitre III: Développement des insectes | 41 |
| 1. Développement embryonnaire | 41 |
| 2. Ecllosion | 42 |
| 3. Mue | 43 |
| 4. Développement post-embryonnaire | 43 |
| 4. 1. Insectes amétaboles | 46 |
| 4. 2. Insectes hétérométaboles paurométaboles | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 4. 3. Insectes hétérométaboles hémimétaboles | 46 |
| 4. 4. Insectes holométaboles | 46 |
| 4. 4. 1. Types de larves des Holométaboles | 49 |
| 4. 4. 2. Types de Nymphe des Holométaboles | 49 |
| Chapitre IV: Taxonomie des insectes | 51 |
| 1. Classification | 51 |
| 2. Systématique et nomenclature | 52 |
| Chapitre V: Ecologie et adaptation aux milieux aquatiques | 55 |
| 1. Adaptation aquatique: | 55 |
| 1. 1. Respiration aquatique: | 55 |
| a. Prélèvement à la surface de l'eau | 55 |
| b. Prélèvement à partir de végétaux aquatiques | 55 |
| c. Transport de réserve d'air | 57 |
| d. Respiration tégumentaire..... | 57 |
| e. Respiration branchiale | 57 |
| 1. 2. Locomotion | 58 |
| 2. Habitats des insectes aquatiques | 59 |
| 2.1. Eaux lotiques | 59 |
| a. Source ou crénon | 59 |
| b. Cours d'eau supérieur ou rhithron | 59 |
| c. Cours d'eau inférieur ou potamon | 59 |
| 2.2. Eaux lenticues ou lénitique..... | 59 |
| Chapitre VI: Etude de différents ordres d'Insectes | 62 |
| 1. Sous-classe des Entognatha..... | 62 |
| 2. Sous-classe des Insecta | 64 |
| Références bibliographiques | 76 |

Introduction et historique

1. Historique

Les insectes sont des animaux extrêmement anciens, et leurs plus vieux fossiles connus remontent à l'ère paléozoïque: ce sont les collemboles du dévonien d'Ecosse. Ils devaient déjà exister au silurien, époque des premiers scorpions, et comptent parmi les plus anciens occupants de la terre ferme (Engel et Grimaldi, 2004).

A ces insectes dépourvus d'ailes (aptérygotes) sont venues s'ajouter, dès le carbonifère, les formes ailées (ptérygotes) qui constituent aujourd'hui l'immense majorité des insectes. Les insectes connurent une grande expansion à la fin du paléozoïque et au début du mésozoïque, et une importante diversification au crétacé (Figures 1, 2, 3).

Au carbonifère, déjà (il y a 320 millions d'années), des libellules et des phasmes géants florissaient dans les marécages. Ces insectes à métamorphose incomplète ont précédé de 100 millions d'années les premiers holométaboles qui, au permien, se sont répandus sur terre ferme (Leraut, 2003).

2. Diversité des insectes

Au sein du phylum des arthropodes, la classe des insectes représente à elle seule les 3/4 des espèces animales actuellement décrites (Engel et Grimaldi, 2004 ; Bourassa, 2011), soit environ un million d'espèces recensées, et l'on estime qu'au moins le double ou encore le triple (Engel et Grimaldi, 2004) voir même cinq à dix millions d'espèces (Dajoz, 2010) reste à découvrir. Les systématiciens ont encore beaucoup à faire, mais bien des espèces auront certainement disparues, avant même d'avoir été décrites. Les insectes représenteraient ainsi plus de 80% des espèces d'animaux vivants sur notre planète (Mariau, 2012).

Les insectes (les hexapodes) actuels comptent parmi les arthropodes les plus diversifiés. Formes, tailles, couleurs, particularités anatomiques leurs permettent de prospérer dans des environnements les plus variés. Grâce à leur aptitude prodigieuse à peupler toutes les niches écologiques disponibles, les insectes ont conquis l'ensemble des terres émergées et des eaux douces. Cette diversité remarquable est l'aboutissement d'une longue évolution en fonction du climat et des sources trophiques, le processus de spéciation n'a cessé de produire des êtres mieux adaptés à un environnement rénové, tandis que d'autres organismes disparaissent (Leraut, 2003).



Figure 1. Fossile d'un Odonate (1).



Figure 2. Fossile d'un Orthoptère (2).



Figure 3. Fossile d'un Plécoptère (3).

3. Abondance des insectes

La réussite exceptionnelle de ce groupe zoologique en terme de nombre est due à de nombreux caractéristiques: un squelette rigide, le vol, faculté d'adaptation et le stade nymphal de la métamorphose.

3.1. Exosquelette: cette carapace rigide assure une protection particulièrement efficace et empêche la déshydratation permettant ainsi aux insectes de quitter le milieu humide.

3.2. Ailes: les insectes sont seul parmi les invertébrés à pouvoir réellement voler, cette possibilité a été un facteur extrêmement important dans la dispersion et le succès des insectes (Dajoz, 2010). Les ailes offrent des avantages certains. Elles permettent aux insectes d'échapper à leurs prédateurs, de se déplacer pour dénicher un habitat mieux adapté, de migrer selon la saison et de couvrir un plus vaste territoire en quête de nourriture et de partenaires.

3.3. Capacité d'adaptation: cette aptitude et presque quasi illimitée, rares sont les endroit sur terre où les insectes ne puissent vivre : les sommets des montagnes, les déserts brûlants, les lacs et les rivières et même les sources chaudes ont leurs occupants. Seule la mer n'a pas été

colonisée, bien qu'il y ait des espèces halophiles qui fréquentent les eaux saumâtres littorales, les lasses ou les amas d'algues flottants. Cette adaptation peut être comportementale, alimentaire ou encore respiratoire.

Si les insectes ont pu coloniser la plus part des biotopes au cours de leur évolution, c'est entre autres parce qu'ils ont été capables d'exploiter toutes les ressources alimentaires de ces milieux, feuilles, fruits, bois, nectar des fleurs, sève, sang de mammifères ou encore autres insectes. Cette spécialisation a entraîné une adaptation des pièces buccales au régime alimentaire afin d'être le plus efficace possible dans la prise de nourriture (4).

3.4. Métamorphose: ce phénomène est en grande partie à l'origine de leur multiplicité. Les insectes actuels ne développent des ailes fonctionnelles qu'au cours de leur transformation de larve en adulte. Tout insecte doté d'ailes est un spécimen adulte. En outre, la croissance prend fin une fois atteint l'état adulte. Cette situation permet à la larve de se concentrer sur sa croissance, tandis que les imagos s'attachent à la dispersion et à la reproduction. Ce qui est spécifique chez les insectes, c'est le fait que beaucoup passent par un stade nymphal entre les formes larvaires et adultes, ce qui leur permet d'atteindre à chaque stade un degré de spécialisation plus élevée.

Ce type de métamorphose, dite complète, permet aussi aux insectes d'hiberner sous forme de nymphe lorsque les conditions extérieures leur sont défavorables, 85% de l'ensemble des espèces d'insectes vivent une métamorphose (ou nymphose) complète, preuve de leur grande capacité d'adaptation.

4. Rôle des insectes dans la nature

D'une manière générale, les insectes participent largement à la biodiversité et assure un rôle majeur dans la chaîne trophique (Leraut, 2003); ils remplissant divers rôles en tant que prédateurs, parasites, fousseurs, décomposeurs, ou simplement parois pour d'autres animaux:

- ✓ Ils sont indispensables à la vie sur la terre, et à notre propre survie.
- ✓ Ils assurent la pollinisation des fleurs qui donneront graines, fruits et légumes.
- ✓ Ils participent au recyclage des déchets organiques de notre environnement, ils aèrent le sol et le débarrasse des végétaux pourris et des cadavres d'animaux.
- ✓ Ils participent à la gestion des écosystèmes.
- ✓ Ils servent de nourriture pour de très nombreux animaux (Arthropodes, oiseaux, reptiles et mammifères).

Mais si l'écrasante majorité des insectes est inoffensive, certains peuvent infliger des piqûres, morsures et autres désagréments, et un nombre non négligeable est vecteur de maladies graves pour l'homme et le bétail. Pour ne pas citer que l'Afrique, le paludisme, la trypanosomiase, les

filarioses, les leishmanioses, l'onchocercose... etc, sévissent toujours, la plupart étant transmis par des insectes. Par ailleurs, les pullulations des ravageurs occasionnent souvent d'importants dégâts aux conséquences économiques graves, voire funestes (Leraut, 2003).

Morphologie et anatomie interne

Généralités

Les Arthropodes, dont les insectes constituent la classe principale et les membres d'invertébrés dominants, sont caractérisés par leur squelette externe rigide et des appendices articulés, d'où leur nom. Cependant, les insectes possèdent certaines caractéristiques qui les distinguent des autres arthropodes à savoir la tagmatisation du corps en 3 parties principales (Figures 1, 2) et l'existence de trois paires de pattes articulées (hexapodes).

Insecte: du latin *insectum*, de *insectare*: couper ou sectionner, à cause de la division de leur corps en plusieurs segments. La définition même de la classe des Insectes est déjà une description:

- Corps composé de plusieurs segments d'anneaux placés bout à bout et est nettement divisé en trois unités fonctionnelles ou tagmas distincts: tête, thorax et abdomen (Leraut, 2003; Dajoz, 2010; Bellmann, 2015).
- Pattes toujours au nombre de six.
- Ailes paires, appendices pairs, répartis par une ou deux paires.

Les insectes sont, à l'état imaginal (adulte), des animaux terrestres ou dulçaquicoles, de petites dimensions (de 0,25 mm à exceptionnellement 30 cm de long).

Le terme Insecte est remplacé par celui d'Hexapodes, ces derniers sont formés de quatre classes: les Protozoaires, les Collemboles, les Diploures et les insectes vrais (Dajoz, 2010).

1. Morphologie

1.1. Tête

Elle constitue la partie antérieure du corps (Bellmann, 2015), elle est toujours bien individualisée et apparaît sous forme d'une capsule, généralement bien sclérifiée et incomplètement fermée, laissant apparaître la cavité orale (Figure 3). La tête des insectes (capsule céphalique) forme un ensemble d'appendices (Figure 4) adaptés à la nutrition (mandibules, palpes, maxilles, labium) mais aussi à la perception et l'odorat (yeux, ocelles, antennes) (Leraut, 2003).

1. 1. 1. Régions crâniennes

Postérieurement l'articulation avec le thorax est réalisée à travers le *foramen magnum*. La tête porte latéro-dorsalement les yeux composés, dorsalement les ocelles, antérieurement ou latéralement les antennes, ventralement les pièces buccales. Elle est plus ou moins divisée en régions qui peuvent être individualisées par des invaginations du tégument marquées extérieurement par des sillons ou *sulci* (pluriels de *sulcus*) (6):

-Le **sulcus fronto-clypéal** marque la limite entre le front et le clypéus.

-Le **sulcus subantennaire** rejoint parfois le **sulcus** fronto-clypéal à partir de l'insertion antennaire.

- Le front correspond à l'aire antérieure de la tête, limitée ventralement par le **sulcus** fronto-clypéal et latéralement par le bord interne des yeux composés (Figure 3).

- Au dessus du front se trouve le **vertex**, et en arrière de celui-ci, au dessus du **foramen magnum**, l'**occiput**. Ces trois régions ne sont toutefois pas individualisées par des sillons. La **postgénéa** prolonge la joue en arrière de la tête. La **gula** est un sclérite qui ferme la capsule céphalique entre l'ouvreuse buccale et le **foramen**. L'occiput présente parfois une **carène occipitale** qui peut se prolonger au niveau de la postgénéa.

Enfin, la partie de la tête située derrière l'œil composé, au dessus de la postgénéa est nommée **tempe**.

1. 1. 2. Appendices céphaliques

a. Antennes

1. Structure: Ceux sont des organes de l'olfaction, du gout et du toucher (Leraut, 2003; Bellmann, 2015). Ils sont présents chez tous les Hexapodes sauf chez les Protoures et sont, en générale, moins développées chez les femelles comparativement à celles des mâles qui recherchent les précédentes pour l'accouplement.

Ce sont des appendices pairs et articulés riches en chimiorécepteurs et disposés symétriquement. Les antennes sont insérées sur le front en avant de la tête, le plus souvent entre les yeux composés et sont articulées par l'intermédiaire d'un article transverse: la **radicule**. Ils sont composés d'un nombre d'articles qui sont (Figure 5):

- Un article basal souvent allongé, le **scape**, articulé sur le crâne.

- Un deuxième article: le **pédicelle**, souvent court, contenant souvent un organe sensoriel: **organe de Johnston** détecteur des mouvements de l'antenne et évalue ainsi la position de l'insecte (Dajoz, 2010).

- Une suite d'articles apicaux dont le nombre et la forme sont très variables formant le **flagelle** ou **clavola**.

Lorsque les derniers articles antennaires sont plus ou moins soudés pour constituer une **massue**, les **flagellomères**, la précédant, forment un **funicule**. La ou les premiers flagellomères sont parfois anneliformes on parle alors d'**annellus**.

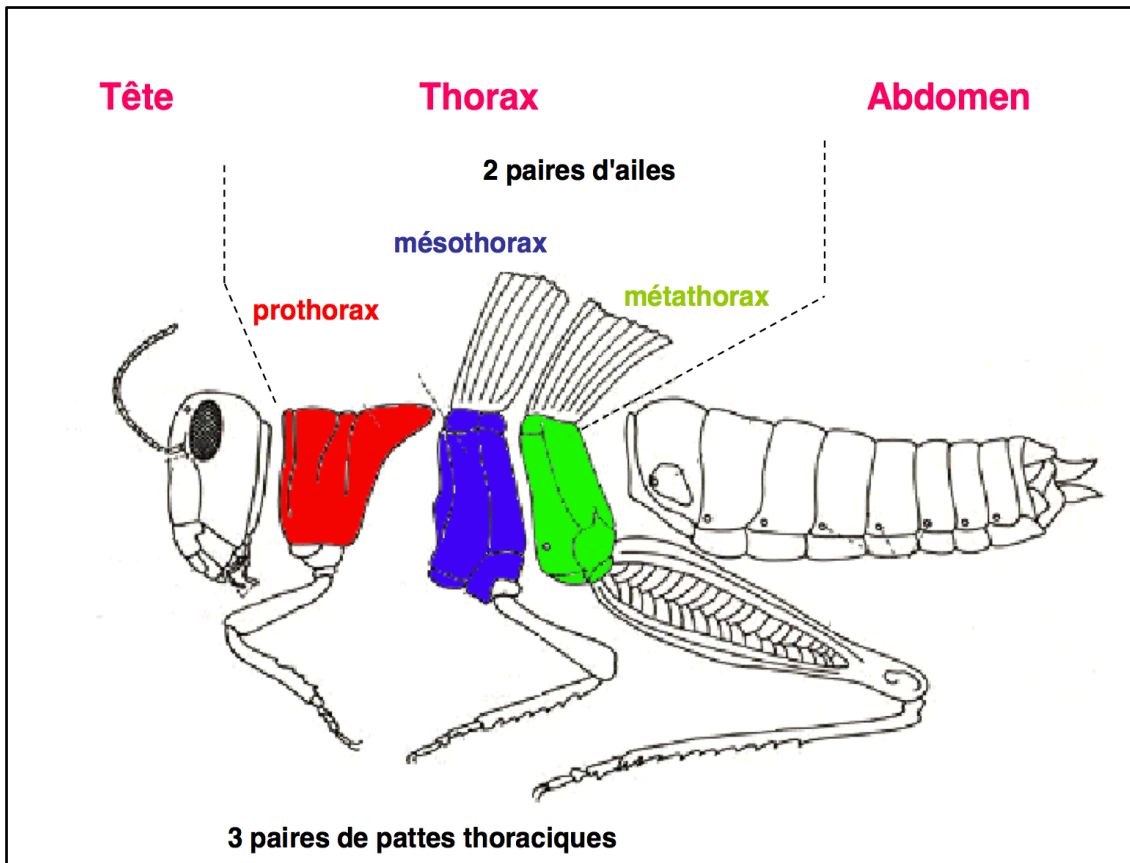


Figure 1. Morphologie générale d'un insecte (4).

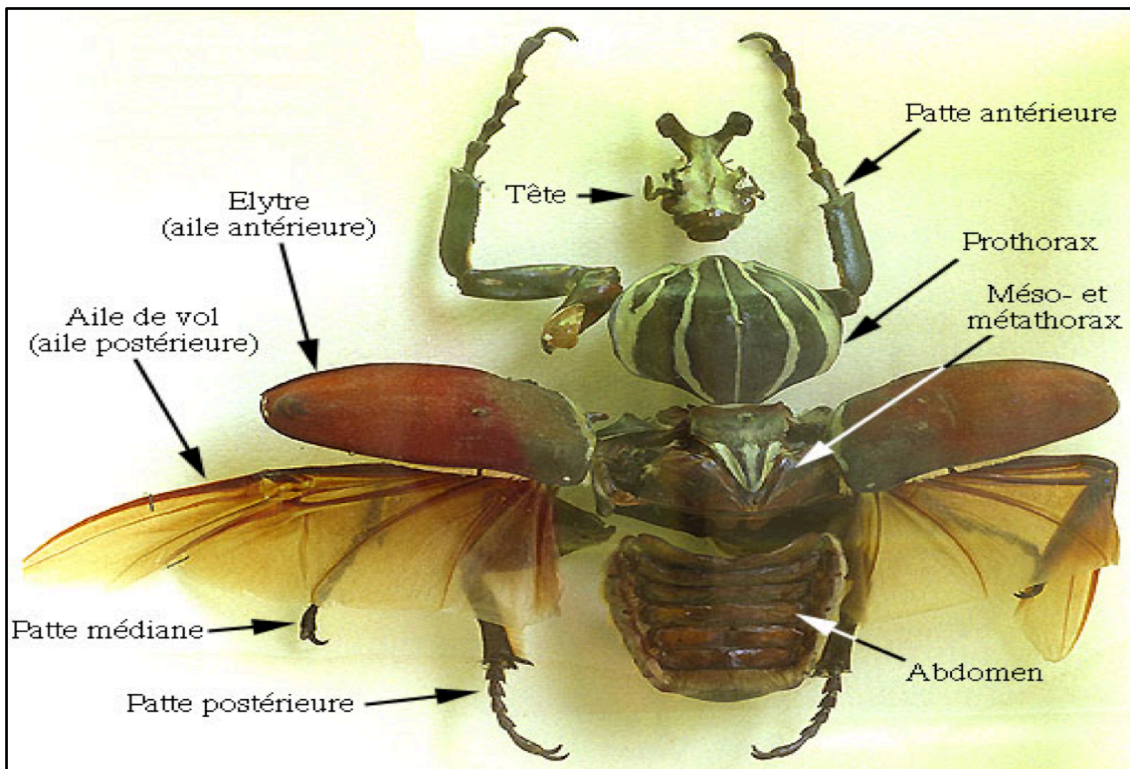


Figure 2. Morphologie générale d'un insecte Coléoptère (5).

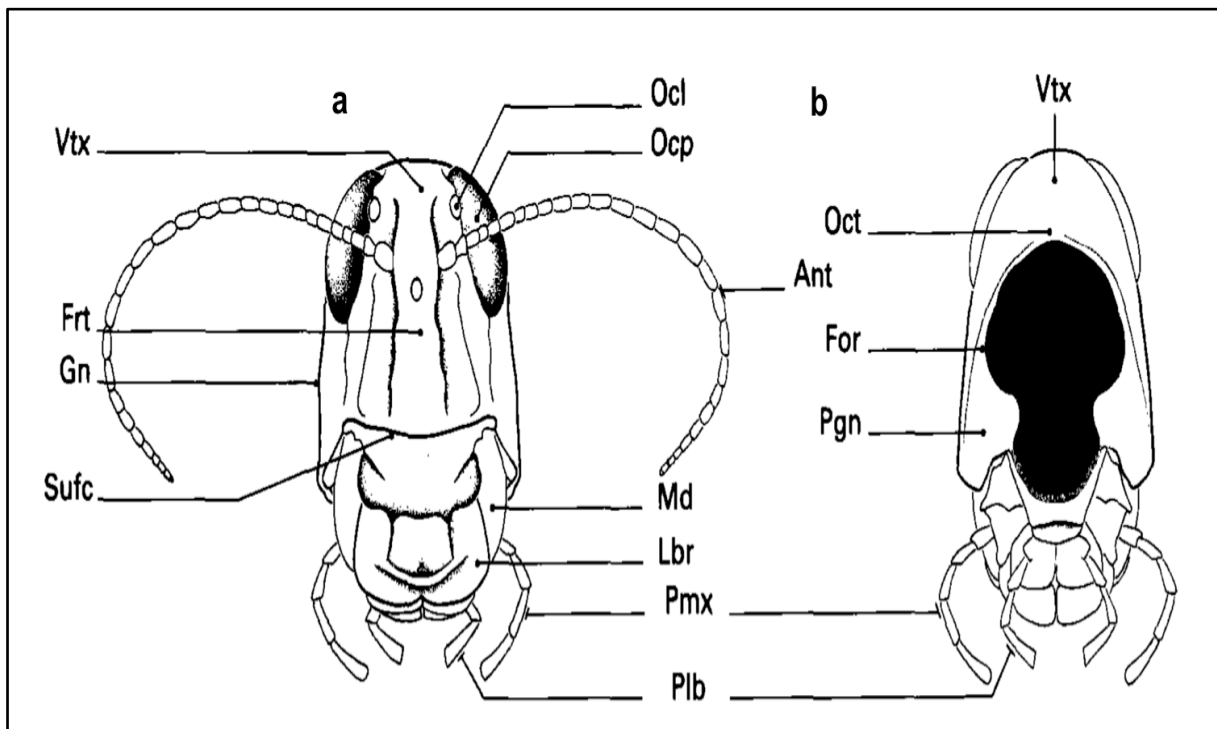


Figure 3. Tête d'un Orthoptère montrant les régions crâniennes: (a) vue frontale, (b) vue postérieure: Vtx: vertex, Frt: front, Gn: géna, Sufc: structure fronto-clypéale, Ocl: ocelle, Ocp: œil composé, Md: mandibule, Lbr: labre, Pmx: palpes maxillaires, Plb: palpe labial, Ant: antenne, Oct: occiput, For: foramen, Pgn: postgéna (6).

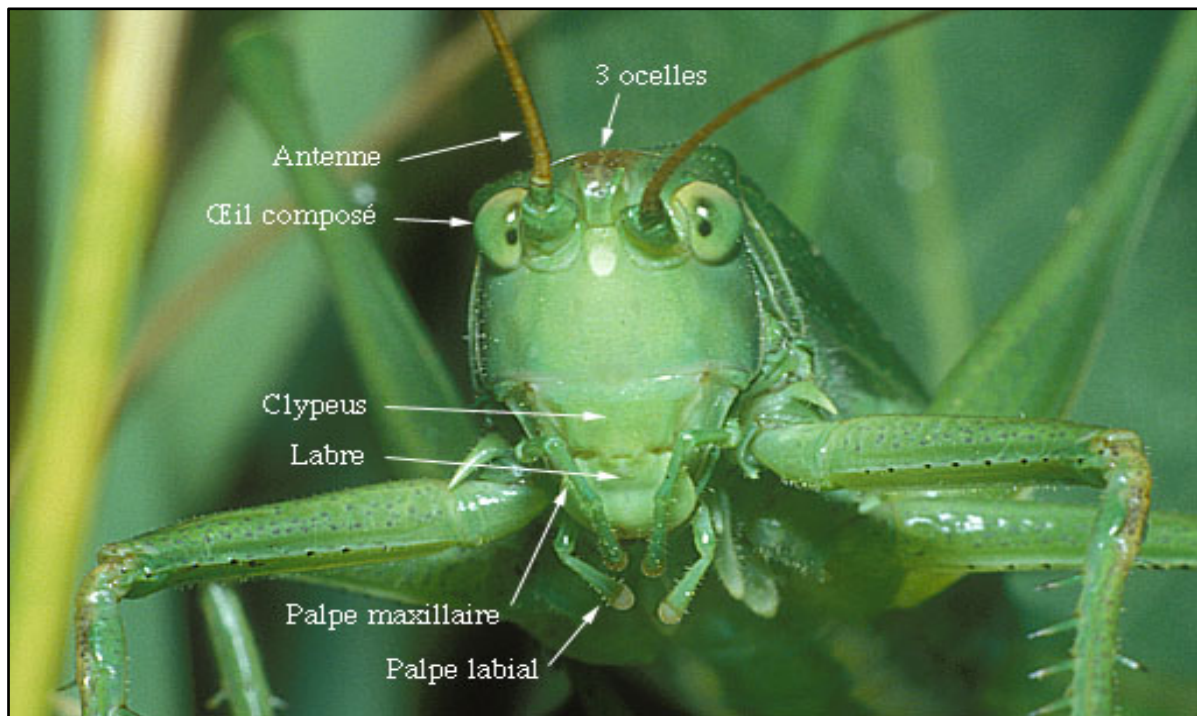


Figure 4. Tête d'un Orthoptère (5).

2. Forme: Elle varie considérablement selon l'espèce (Roth, 1980), cette propriété possède une très grande valeur systématique et est souvent utilisée pour la reconnaissance et la classification des familles d'insectes (Dajoz, 2010). Ainsi on distingue (Figure 6):

- **coudée:** le scape fait un angle distinct avec le funicule.
- **moniliforme:** tous les articles sont semblables et de forme subsphérique.
- **filiforme:** les articles sont nombreux, cylindriques et identiques.
- **serrulée:** les articles sont dissymétriques et triangulaires.
- **pectinée:** les articles présentent un long processus latéral dissymétrique (prolongement).
- **Lamellée:** les derniers articles mobiles forment un éventail.
- **plumeuse:** les expansions latérales des articles portent elles-mêmes des soies.
- **aristée:** lorsqu'elle porte une longue soie.

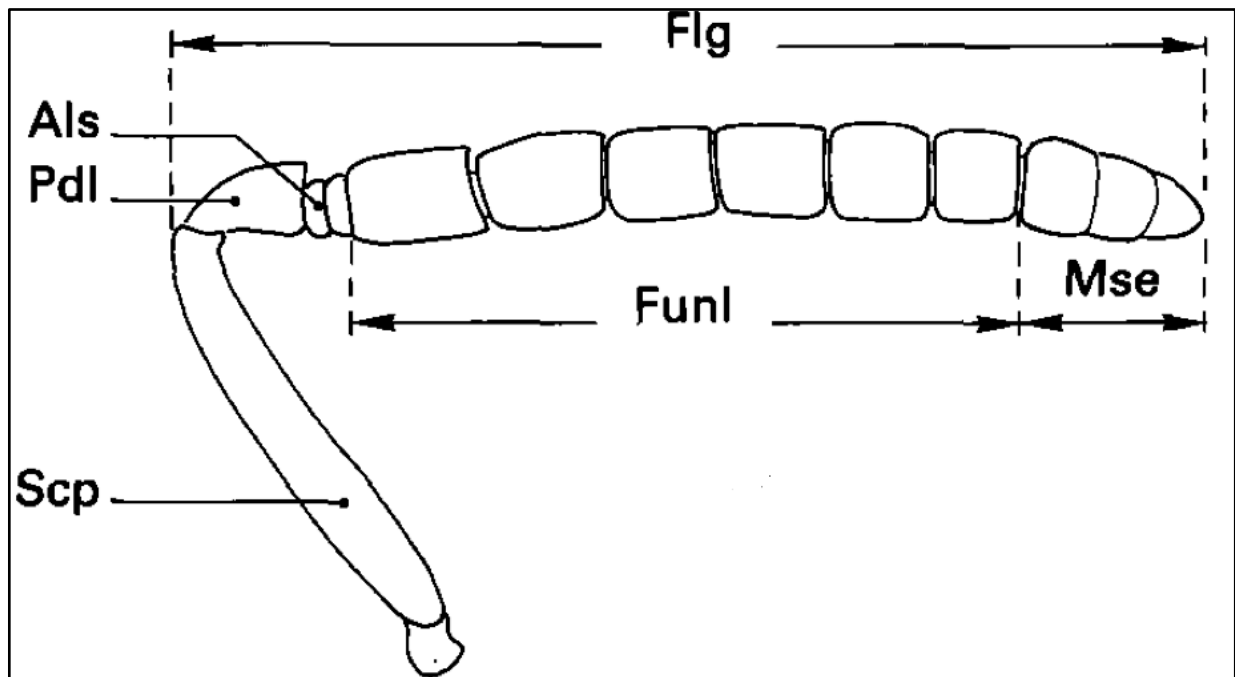


Figure 5. Structure d'une antenne: Flg: flagelle, Mse: massue, Funl: funicule, Pdl: pédicelle, Als: annellus. Scp: scape (6).



Figure 6. Différentes formes d'antennes (8).

b. Yeux

Il existe 2 types différents d'yeux (Leraut, 2003; Dajoz, 2010; Bellmann, 2015) chez les insectes (Figure 7):

1. Yeux composés: à disposition hémisphérique ils représentent la principale structure de perception visuelle, ceux-ci sont formés d'un grand nombre d'unité : **ommatidies** qui par leur juxtaposition, donnent un aspect "à facettes" aux yeux de l'insecte. Ces structures

reproduisent une image en mosaïque du monde environnant. Les ommatidies, partie réceptrice, sont solidaires du système nerveux par l'intermédiaire des lobes optiques (9). Certains insectes, comme les libellules, ont des yeux composés très développés et peuvent voir dans toutes les directions en même temps.

2. Ocelles (ou yeux simples): ceux-ci, habituellement situés sur le dessus de la tête, permettent de détecter les variations de luminosité. Les insectes possèdent de 0 à 3 ocelles.

Rôle des ocelles: Les ocelles ne possèdent pas de système d'adaptation à évaluer l'intensité lumineuse, ils ne servent pas à la vision et ne peuvent renseigner sur les formes (Dajoz, 2010), mais plutôt à la perception du rythme circadien (variation de l'éclaircissement) qui règle l'activité journalière (Bellmann, 2015). On suppose qu'ils sont sensibles à la lumière et que, d'une façon ou d'une autre, ils contribuent à accroître la sensibilité des yeux composés. Les ocelles des larves sont localisés sur les faces latérales de la tête et les renseignements assez vaguement sur la nature de l'environnement, suffisamment du moins que pour leur permettre de distinguer les zones éclairées des zones obscures.

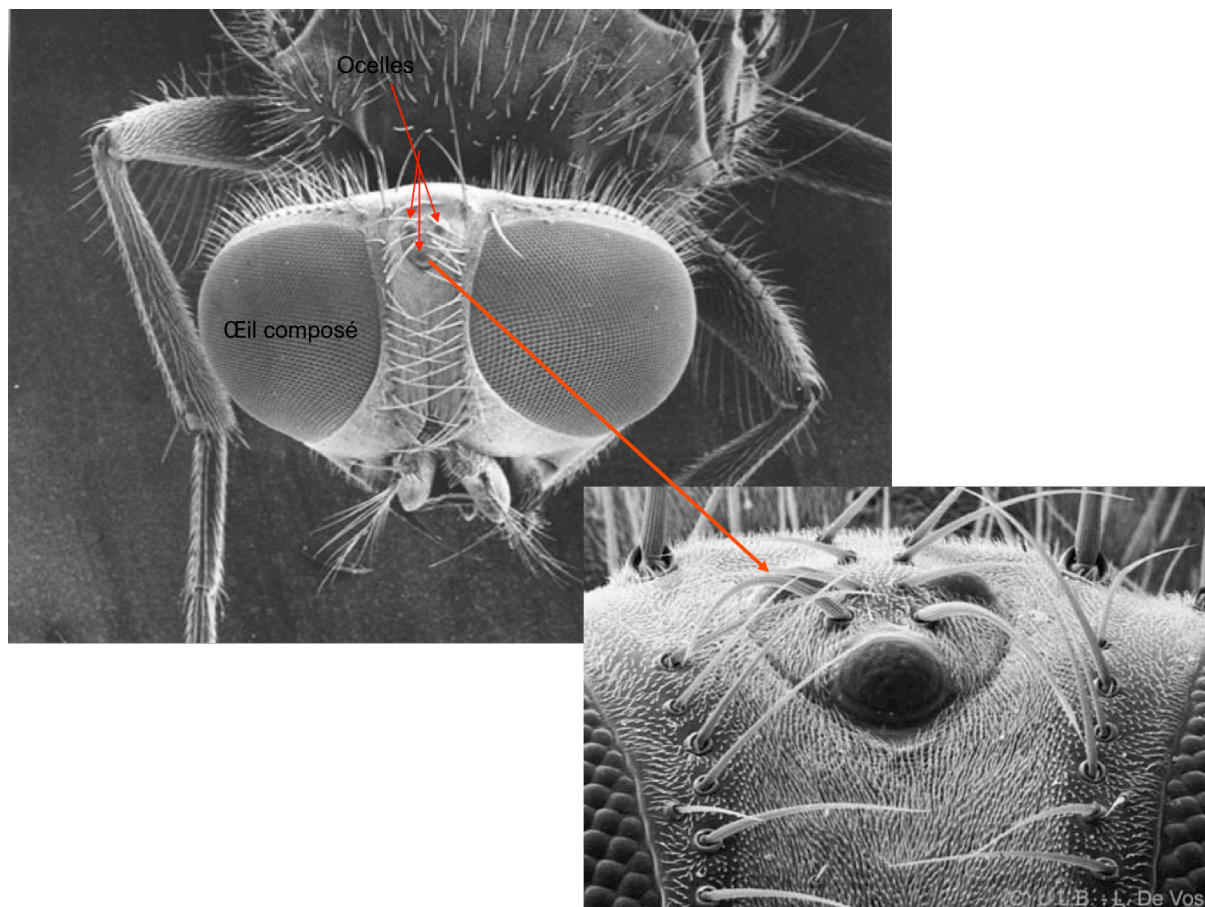


Figure 7. Tête d'un Diptère montrant les deux types d'œil.

c. Appareil buccal

C'est un ensemble d'appendices, généralement articulés, qui servent à la préhension de la nourriture et à son ingestion. Leurs formes et leurs agencements diffèrent d'un groupe d'insectes à l'autre. En fonction de la visibilité de ces appendices par rapport à la tête, on peut classer les insectes en deux grands groupes : les entognathes et les ectognathes (10).

- Les **entognathes** sont caractérisés par la présence de pièces buccales si bien logées dans la tête qu'elles ne sont pas visibles de l'extérieur. C'est le cas des collembolés, des protoures et des Diploures. Ces insectes sont considérés comme primitifs comparativement aux ectognathes.

- Les **ectognathes** possèdent, au contraire, des pièces buccales bien visibles de l'extérieur. C'est le cas de la majorité des insectes.

1. Structure de l'appareil buccal: d'avant en arrière (Dajoz, 2010), les pièces buccales comprennent (Figures 8, 9):

- Le **labre** ou **labrum** (lèvre supérieure): impair, c'est pas un appendice, il correspond à une simple évagination du tégument, situé juste sous le clypéus. C'est une pièce mobile qui maintient les aliments lors de la mastication.

- **Mandibules:** paire, appendices très sclérifiés et unisegmenté qui sont réunis à la base de la capsule céphalique par une double articulation et sont mise en mouvement par de puissants muscles. Chez les insectes piqueurs ou suceurs, elles sont transformées en stylets allongés.

- **Maxilles:** paire, elles comprennent une pièce basale: **cardo**, suivi du **stipes**, celui-ci porte le **palpe maxillaire** qui porte à son extrémité de nombreuses terminaisons nerveuses ayant un rôle gustatif et 2 autres articles : une **galéa** externe et une **lacinia** interne.

- **Labium** (lèvre inférieure): impair, divisé en un **postmentum** basal et un **prémentum** distal. Le premier comprend un **submentum** basal suivi d'un **mentum**, le second porte une paire de **palpes labiaux**, formés chacun de 3 articles et terminés par des organes sensoriels, et un ensemble de lobes apicaux: 2 lobes submédians appelés les **glosses** et 2 lobes latéraux dits les **paraglosses**.

- **Hypopharynx** (langue): c'est un repli membraneux situé à la base du mentum. Il est assez réduit chez les insectes à pièces buccales de type broyeur.

2. Types d'appareil buccal: Les pièces buccales dérivent toutes d'un type primitif, le type broyeur, cependant, chez certains insectes évolués, elles sont très différentes bien qu'elles se soient formées à partir de la même structure (Roth, 1980; Lerau, 2003; Bellmann, 2015). Ainsi selon le régime alimentaire conditionnant la forme et le fonctionnement de ces pièces, on peut distinguer (Dajoz, 2010):

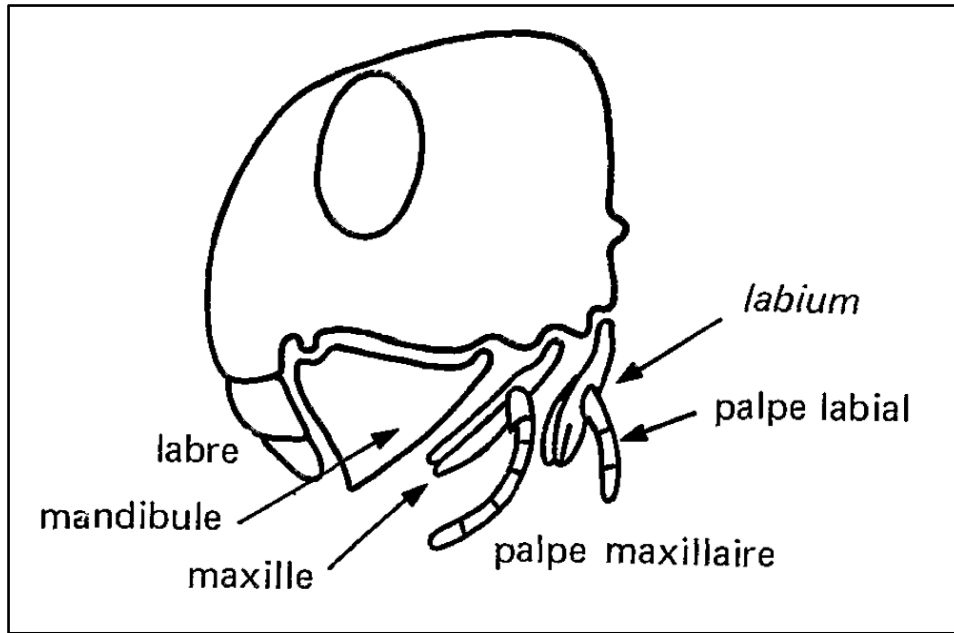


Figure 8. Représentation schématique de l'agencement des pièces buccales chez un insecte broyeur (Roth, 1980).

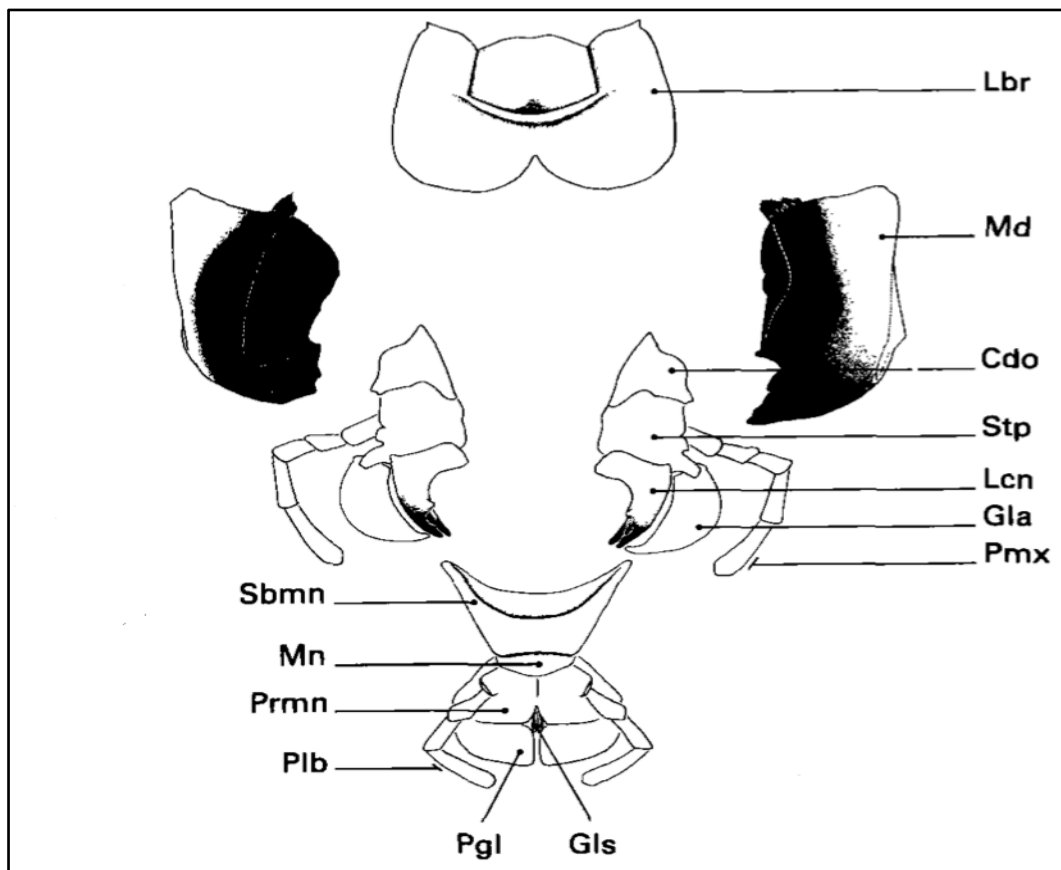


Figure 9. Pièces buccales d'un insecte Orthoptère disposées séparément: Lbr: labre, Md: mandibule, Cdo: cardo, Stp: stipe, Gla: galéa, Lcn: lacinia, Pmx: palpes maxillaires, Plb: palpe labial, Prmn: prémentum, Mn: mentum, Sbm: submentum (6).

a. Type broyeur: C'est le type primitif, ceux sont des insecte phytophages ou carnivores qui se caractérisent par des mandibules développées, puissantes et tranchantes capable de couper et de mâcher les aliments solides (voir partie structure de l'appareil buccal + Figure 9).

Exemples: Coléoptères, Dictyoptères, Orthoptères, Névroptères, Odonates, Hyménoptères Symphytes et les chenilles de Lépidoptères.

b. Type broyeur-lécheur: Ce type est adapté à l'utilisation d'alimentation liquide comme le nectar, bien que ses insectes ont conservé la possibilité de travailler des aliments solides. Les mandibules restent presque normales, les mâchoires s'allongent et les deux glosses du labium forment une langue allongée et velue apte à lâcher ou à pomper le nectar (Figure 10).

Exemple: Hyménoptère, dont l'abeille domestique est un parfait exemple, leurs mandibules ne sont utilisées que pour pétrir la cire pour en faire des alvéoles, et non pas pour couper des aliments.

c. Type suceur: Chez de nombreux insectes, incapables de couper et de broyer des aliments solides, la nourriture est exclusivement liquide (Dajoz, 2010). Chez ces insectes appelés « suceurs », les mandibules, les maxilles et certaines autres pièces buccales sont modifiées en stylets. Ces pièces buccales généralement allongées forment un long tube par lequel les aliments liquides sont aspirés. La bouche de ces insectes fonctionne généralement comme une pompe. Le nombre de stylets, leur agencement et leur fonctionnement permettent la distinction de différents groupes:

- **Suceur-lécheur**

Les Lépidoptères adultes, dont les pièces buccales comprennent des palpes labiaux et des maxilles allongées représentent un excellent exemple de d'insectes suceurs- lécheurs, de type « suceur-maxillaire ». Les maxilles sont soudées l'une à l'autre pour former une sorte de longue trompe spiralée. Au repos, cette trompe est enroulée sur elle-même, sous la tête. Elle se déplie pour aspirer le nectar des fleurs et le jus des fruits fermentés (Figure 11).

Chez certains insectes « suceurs-lécheurs », comme les Diptères Brachycères non piqueurs tel que la mouche domestique, le labium est très développé « suceur-maxillaire », formant une trompe molle appelée **proboscis** qui ressemble à une éponge, terminée par deux lobes ou labelles, perforés de nombreuses pseudo-trachées débouchant dans le pharynx et permet de pomper des aliments liquides. Ces insectes sont aussi capables de liquéfier des aliments solides avec leur salive (Figure 12).

- **Piqueur-suceur**

Il correspond à des structures très diverses et il permet aux insectes d'atteindre des aliments liquides non accessibles directement. Ces insectes possèdent des pièces buccales appelées **stylets** leur permettant de percer la peau des animaux ou les tissus de végétaux afin d'aspirer les liquides internes.

Certains insectes tels que les Diptères Nématocères, comme les glossines (figure 13) ou encore les moustiques (figure 14) se nourrissent de sang. Les moustiques enfoncent leurs stylets dans la peau jusqu'à ce qu'ils rencontrent un vaisseau sanguin afin d'y aspirer le sang.

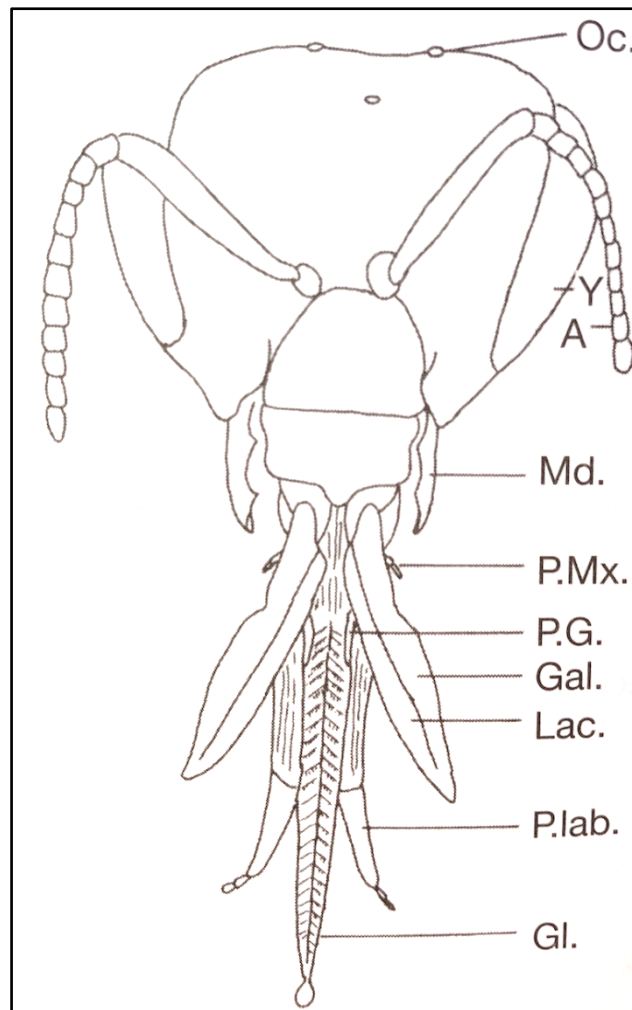


Figure 10. Tête d'un Hyménoptère (abeille) vue de face. Md: mandibule, P. Mx: palpe maxillaire rudimentaire, Gal: galéa, Lac: lacinia, P.G: paraglosse, P. lab: palpe labial, Gl: glosses allongées, Y: yeux composés, Oc: ocelles, A: antenne (Dajoz, 2010).

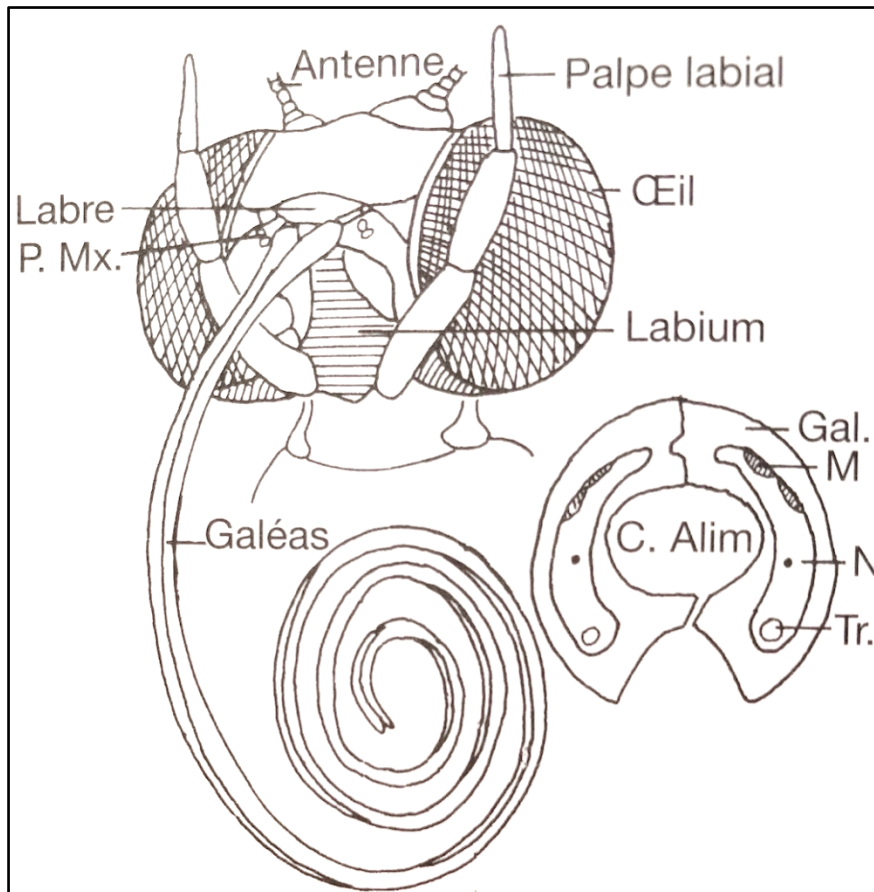


Figure 11. Pièces buccales d'un Lépidoptère: P.MX: palpe maxillaire, Gal: galéa, C. Alim: canal alimentaire, M: muscles, N: nerf, Tr: trachée (Dajoz, 2010).

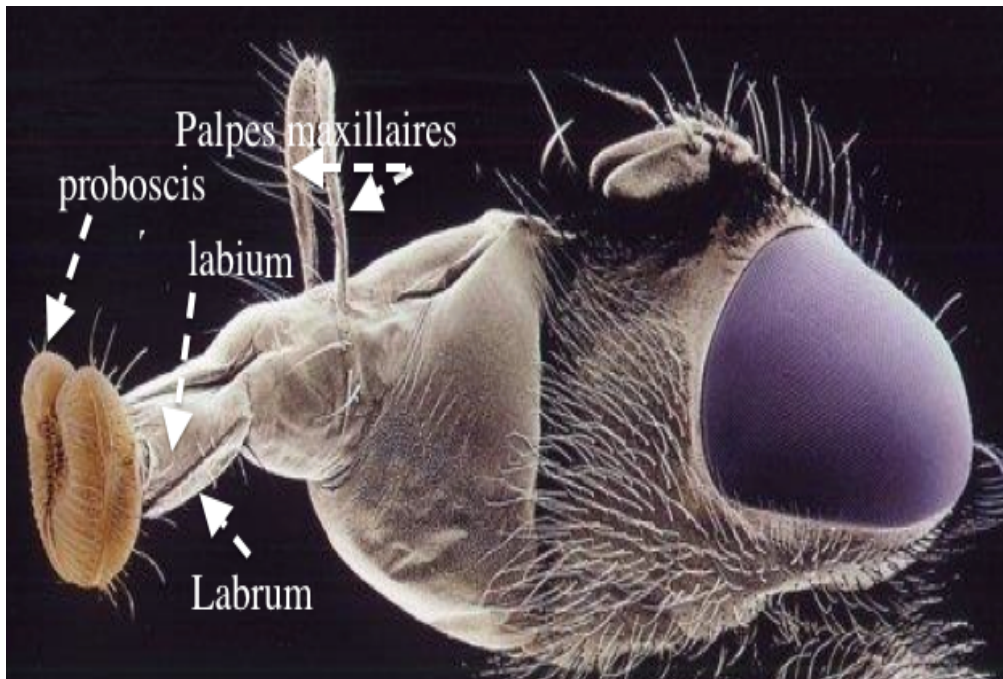


Figure 12. Pièces buccales d'une mouche domestique (4).

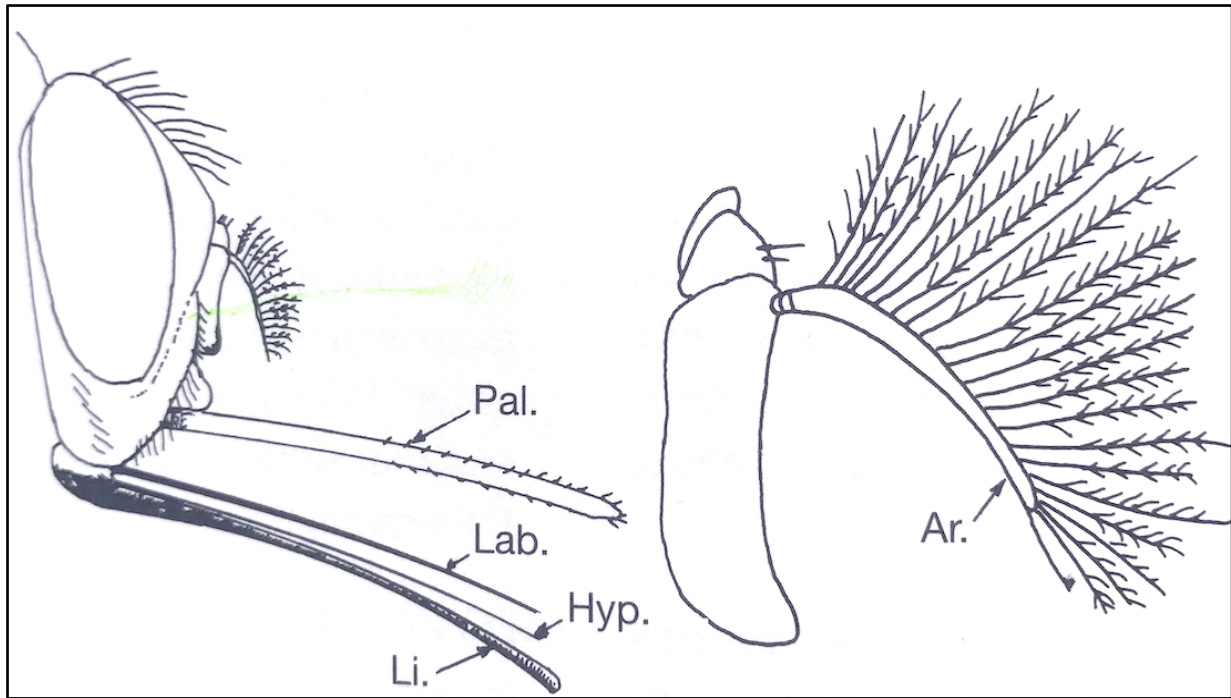


Figure 13. Profil de la tête d'un Diptère Glossinidae, *Glossina palpalis*: Hyp: hypopharynx, Lab: labre-épipharynx, Li: labium, Pal: palpe maxillaire, Ar: arista (Dajoz, 2010).

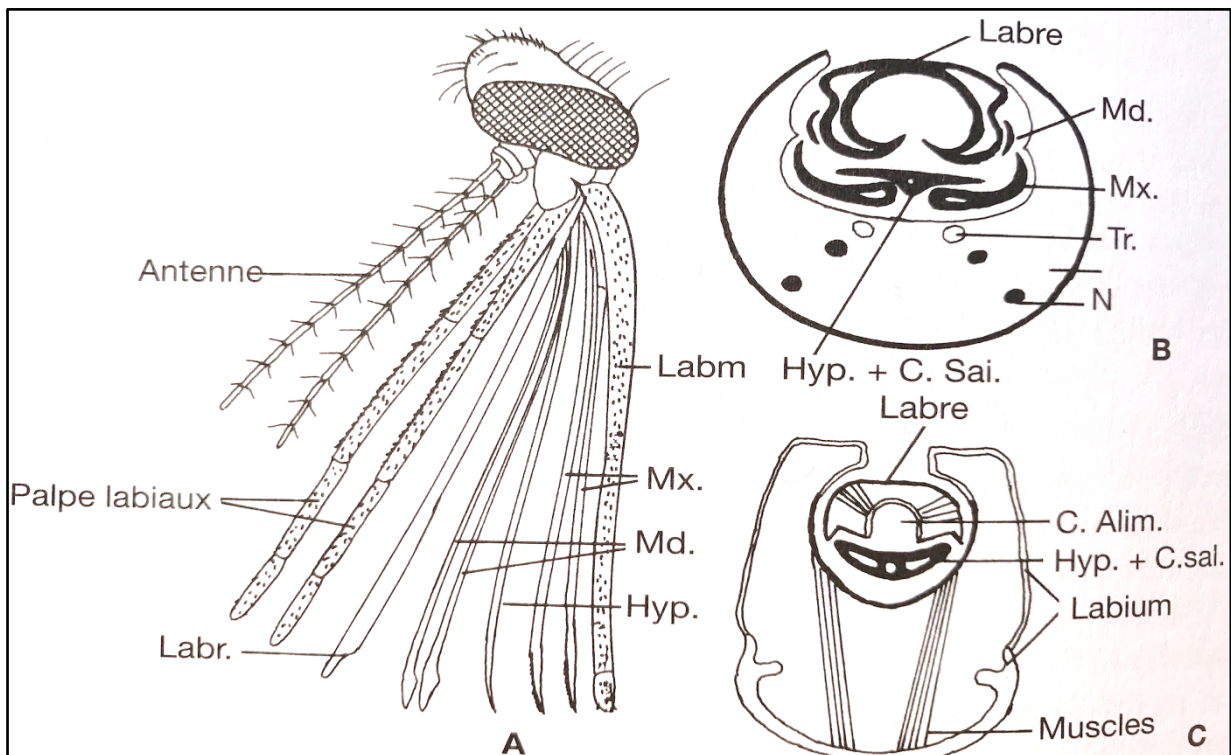


Figure 14. Pièces buccales des Diptères, **A** : Culicidae *Anopheles maculipennis*, **B**: coupe transversale de la trompe de la même espèce, **C** : coupe transversale de la trompe d'un Diptère non piqueur *Musca domestica*, Mx: maxilles, Labm: labium, Labr: labre, Md: mandibules, Hyp: hypopharynx, C. Alim: canal alimentaire, Hyp + C. sal: hypopharynx renfermant le canal salivaire (Dajoz, 2010).

3. Modifications particulières de l'appareil buccal:

- Hypertrophie d'une des pièces buccales tels que l'hypertrophie mandibulaire chez le mâle Coléoptère de la famille des lucanidae (Figure 15a) ou encore l'hypertrophie du labium (Figure 15b) chez les larves d'Odonates (labium allongé en "masque" avec 2 crochets mobiles correspondant aux palpes labiaux).
- Insectes à mandibules canaliculées ou "crochets suçeurs" (Figure 15c) comme les larves des Coléoptère Dytiscidae (mandibules avec canal mandibulaire : digestion extra-intestinale due à une pompe pharyngienne).

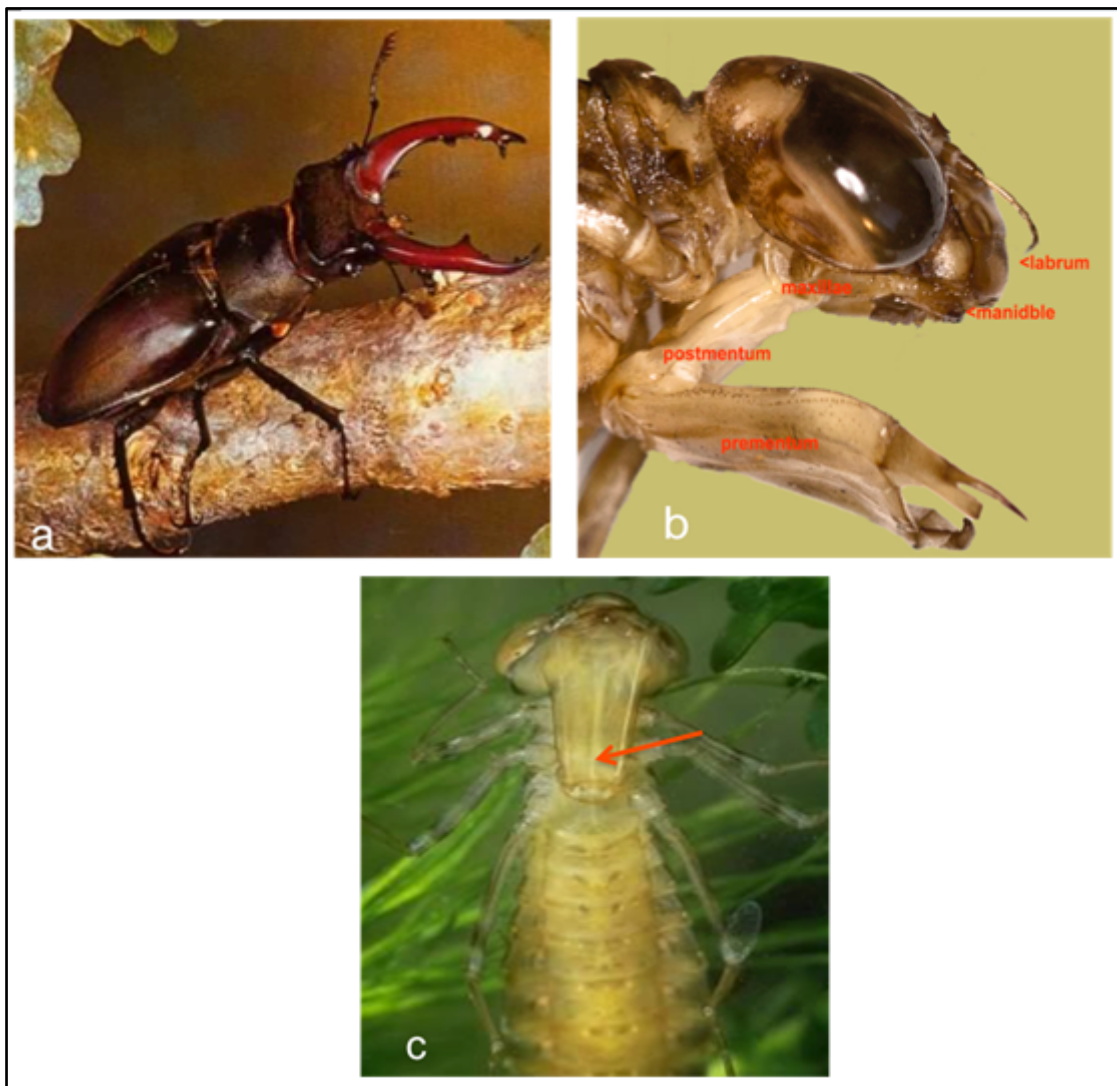


Figure 15. Modifications particulières de l'appareil buccal, (a) : mandibules hypertrophiées de *Lucanus cervus* mâle, (b): "Masque" replié sous la tête d'une larve d'odonate, (c): mandibules canaliculées d'une larve de Dytiscidae (4).

1. 2. Thorax: Le thorax est le tagme dévolue à la locomotion de l'insecte, il est composé de trois segments (métamères) presque toujours bien distincts: **le prothorax, le mésothorax et le métathorax** (Roth, 1980; Lerau, 2003; Dajoz, 2010). Chaque segment porte une paire de pattes sauf de rares exceptions. Le premier segment ou prothorax est dépourvu d'ailes chez les espèces actuelles. Le méso et le métathorax, qui forment le **ptérothorax** portent chacun, une paire d'ailes. Le thorax porte deux paires de stigmates sur le mésothorax et sur le métathorax.

1. 2. 1. Exosquelette thoracique: La forme et la structure des segments du thorax sont variables. On distingue les éléments typiques d'un Arthropode:

- une partie dorsales : le **tergite** ou **tergum**.
- une partie ventrale le **sternite** ou **sternum**.
- deux parties latérales: les **pleurites**.

Le squelette externe a une structure très variable selon diverses espèces, la structure générale est la suivante (Figure 16):

a. Pièces dorsales: Leur ensemble constitue le **notum** avec, pour chaque segment, le pronotum, le mésonotum et le métanotum. Chaque notum est divisé en préscutum, scutum et scutellum, en arrière de chaque notum se trouve un postscutellum. L'importance relative de ces diverses parties varie beaucoup avec les divers ordres.

b. Pièces ventrales: Elles forment le sternum et elles sont aussi divisées en présternum, sternum et sternellum.

c. Pièces latérales: Ceux sont les pleurites et elles ont une structure complexe. On y distingue essentiellement deux pièces, l'épisternite en avant et l'épimère en arrière, séparés par la structure pleurale. Le trochantin est primitivement un article de la patte qui peut s'intégrer de la base de la patte qui peut s'intégrer à la région pleurale. La région précoxale est située en avant à la face ventrale de l'épisternite; la région postcoxale est située en arrière à la face ventrale de l'épimère.

1. 2. 2. Appendices thoraciques

a. Pattes

Les pattes ont une structure commune présentant peu de variation et commencent toutes par une pièce qu'on nomme la hanche ou le **coxa** (Figure 17). S'en suivent, le **trochanter**, le **fémur**, le **tibia**, le **tarse** divisé en un nombre variable d'article et une pièce terminale le **prétarsse** ou **empodium** possédant une paire de griffes (Roth, 1980; Dajoz, 2010).

Très souvent ces articles sont associés entre eux par des membranes. La hanche présente à sa base une suture, la suture basicostale qui isole le basicoxite. Cette suture longe la suture

pleurale et isole une pièce, le meron. Le trochanter est une pièce contient des muscles utiles pour rétracter le fémur.

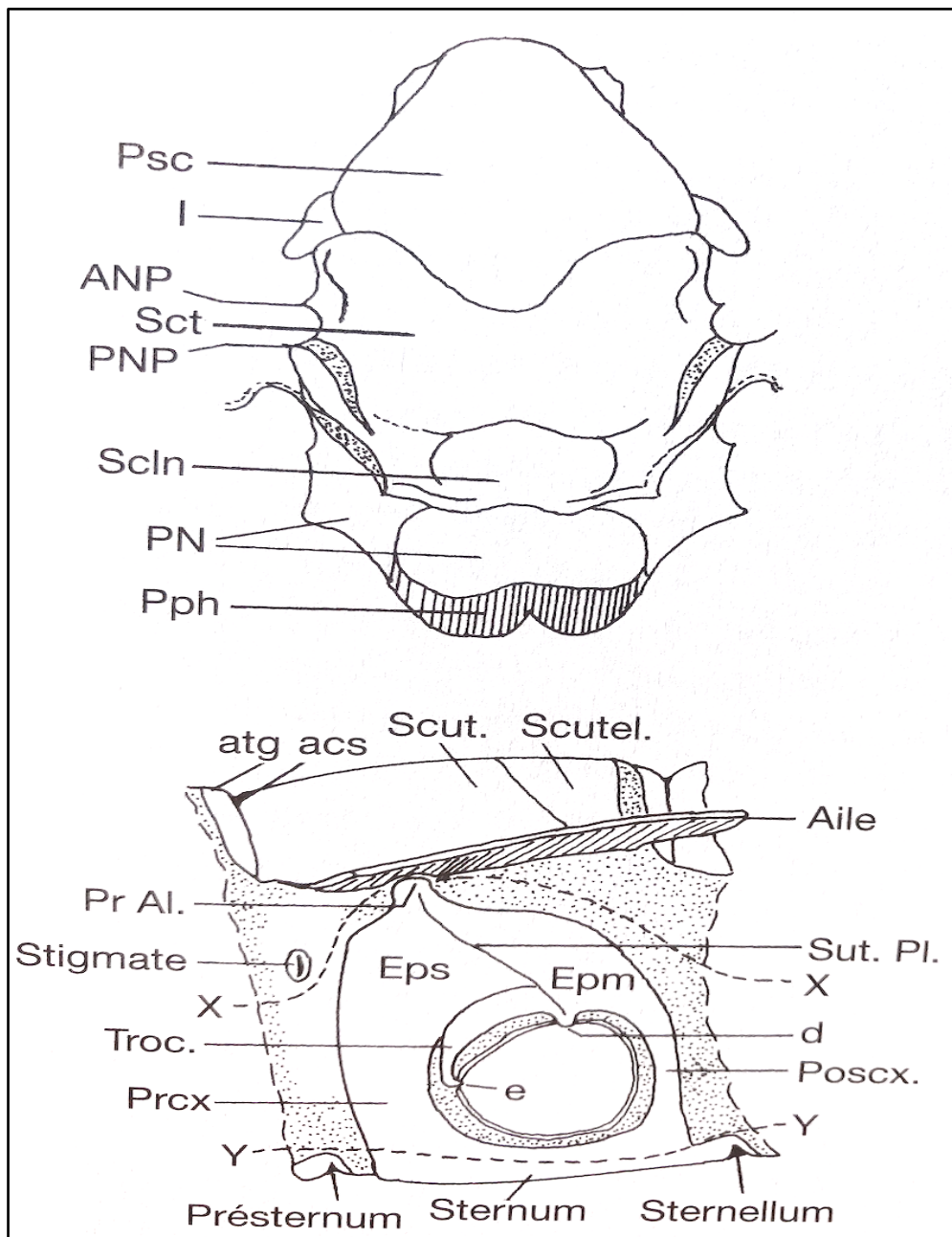


Figure 16. Structure du thorax: en haut, la région tergale du mésothorax d'un Mécoptère: Psc: préscutum, Scut: scutum, Scutel: scutellum, PN: postnotum, Pph: postphragma, ANP: processus alaire antérieur, PNP: processus alaire postérieur, L: lobe du préscutum. En bas: vue latérale schématique d'un segment thoracique. Les ailes sectionnées à la base, les lignes X-X et Y-Y marquent les limites de la région pleurale. E: articulation de la patte sur la région pleurale, atg: acrotergite, acs: suture antécostale, Scut: scutum, scutel: scutellum, Pr Al: processus alaire, Troc: trochantin, Eps: épisterne, Epm: épimère, Prcx: région précoxale, Poscx: région postcoxale, Sut. Pl: suture pleurale (Dajoz, 2010).

1. Type de pattes: Le rôle principal des pattes étant la marche, la succession des pièces des pattes est toujours identique, cependant, de profondes modifications peuvent exister lorsqu'elles assurent d'autres rôles. Ainsi on peut distinguer (Figure 18):

- **Pattes fouisseuses:** en forme de pelles, Exemple: les orthoptères cylindrachaetidae, hémiptères cydnidae.
- **Pattes nageuses:** chez les Coléoptères Gyrinidae et Dytiscidae, les pattes antérieures des mâles sont garnies de ventouses et jouent un rôle dans l'accouplement.
- **Pattes sauteuses:** existent chez les orthoptères, une élongation du fémur et du tibia des pattes postérieures permettant le saut.
- **Pattes ravisseuses:** pattes antérieures adaptées à la capture des proies, caractérisent les mantes, les Mécoptères Bitacidés et les Hyménoptères Dryinidae.

b. Ailes

À l'heure actuelle, les entomologistes admettent que les ailes sont des expansions notales qui se seraient développées afin de permettre le vol (apparition d'une musculature propre, réduction de l'épaisseur pour donner des membranes, apparition de nervures, etc.), les pleures ont un rôle de soutien de ces évaginations. Une aile consiste en une surface cuticulaire soutenue par des nervures tubulaires et sclérosées qui renferment des trachées, des vaisseaux sanguins et des fibres nerveuses (Roth, 1980, Dajoz, 2010).

Le développement des ailes dépend du mode de développement de l'insecte:

- Chez les holométaboles, les ébauches alaires sont invisibles, elles se forment sous le tégument larvaire d'où le nom d'**endoptérygotes**, leur croissance est rapide à la fin de la vie larvaire et les ailes n'apparaissent qu'après la nymphose.
- Chez les hétérométaboles, les ébauches alaires apparaissent et se développent à partir de la deuxième mue larvaire, ceux sont des expansions creuses externes d'où le nom d'**exoptérygotes**, la dimension des ébauches augmente à chaque mue pour atteindre sa taille maximale lors de la mue imaginale.
- **Nervation alaire** (Figure 19) : C'est un réseau complexe formé de nervures dont la disposition est caractéristique de chaque ordre et de chaque famille. On distingue des nervures principales longitudinales et des nervures accessoires transverses, les zones formées par les deux sont dites **cellules**.

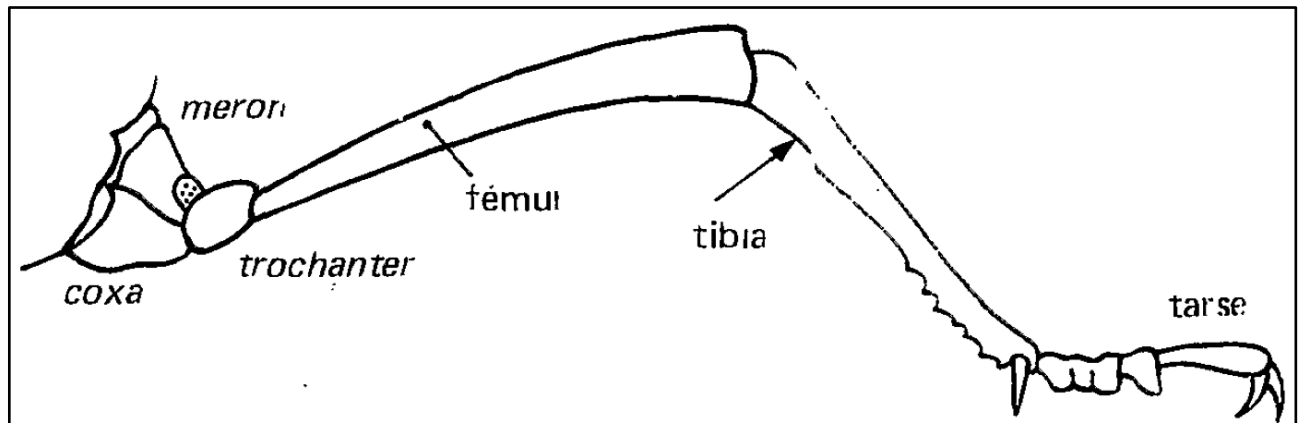


Figure 17. Structure d'une patte (Roth, 1980)

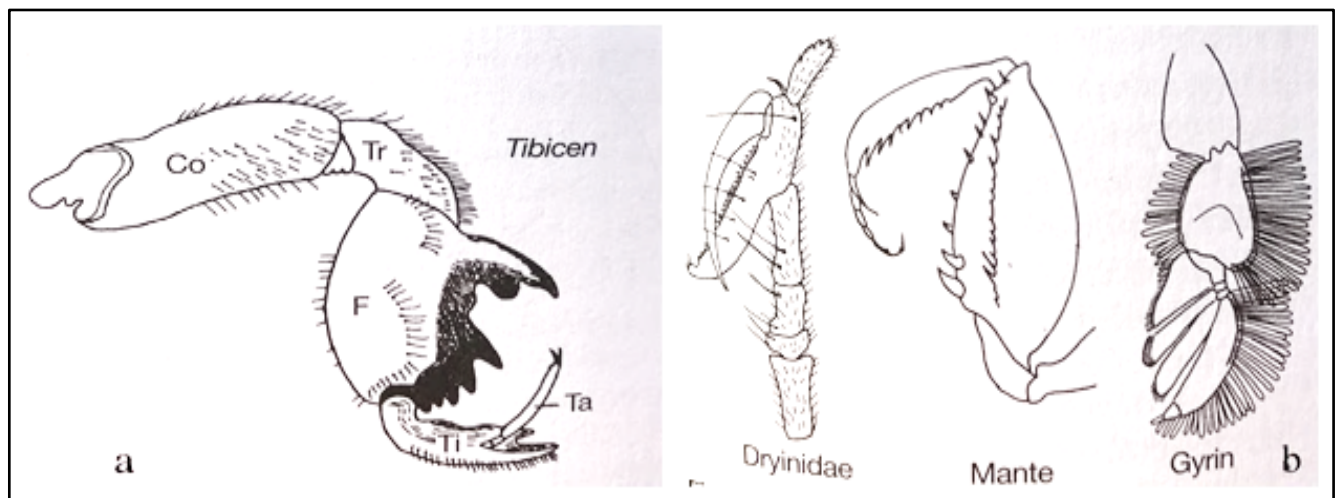


Figure 18. Diverses adaptations de pattes chez les insectes: **a**: patte fouisseuse d'une larve souterraine d'un Hémiptère *Tibicen*, **b**: pattes antérieures ravisseuses d'un Hyménoptère *Dryinidae* et d'un dictyoptère *Mantidae*, patte antérieure nageuse d'un *Gyrinidae*. Co: coxa, F: fémur, Tr: trochanter, Ti: tibia, Ta: tarse (Dajoz, 2010).

- **Les nervures longitudinales:** Elles sont disposées en éventail à partir de la base de l'aile où elles se soudent, ou bien s'articulent sur des sclérites axillaires. Chez les insectes évolués tels que les Orthoptères, il existe 3 ou 4 sclérites axillaires qui permettent à l'aile de se replier en éventail, tandis que chez les insectes primitifs, comme les Odonates et les Éphéméroptères il n'existe qu'un seul sclérite axillaire et ne peuvent donc replier leurs ailes. De l'avant vers l'arrière de l'aile on distingue: la nervure costale **C**, la nervure sous costale **Sc**, la radiale **R**, la médiane **M**, la cubitale **Cu**, la post-cubitale **Psc**, les nervures anales **A** et les nervures jugales **Ju**. Ces nervures peuvent se subdiviser ou fusionner en partie avec d'autres.

- La radiale peut se subdiviser en 5 branches appelées R1, R2, R3, R4 et R5.

- La médiane se divise en médiane antérieure MA (divisée à son tour en MA1 et MA2) et en

médiane postérieure MP (divisée en M1, M2, M3, M4).

- La nervure anale se divise en 1A, 2A, 3A, 4A.

- **Les nervures transverses** forment un réseau dense chez les insectes primitifs comme les odonates et sont souvent absentes chez les plus évolués tels que les Hyménoptères. Selon leur position, on distingue: la nervure **h** qui réunit la costale et la sous-costale, la nervure **rm** réunit la radiale et la médiane; la nervure **cu** réunit la médiane et la cubitale.

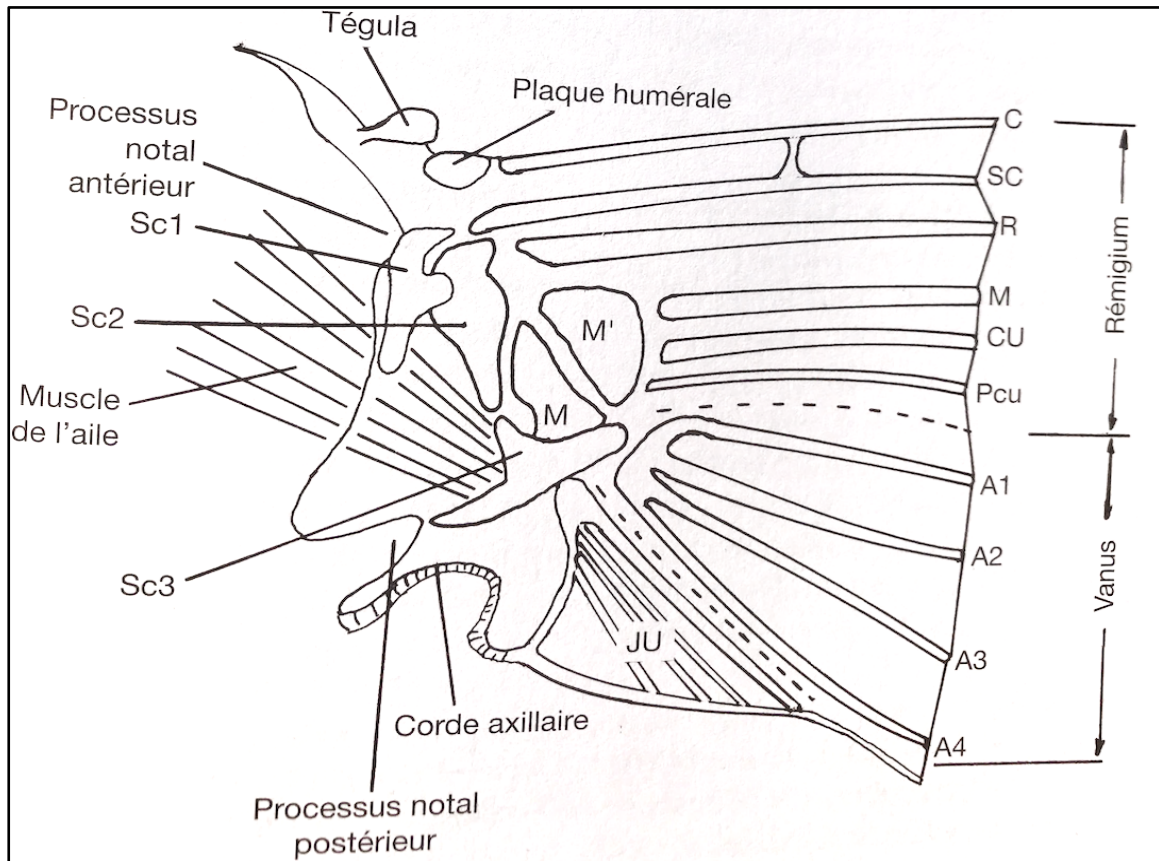


Figure 19. Schéma de la base de l'aile postérieure et de son articulation sur le métathorax chez un insecte Néoptère: Nervures: C costale, SC: sous-costale, R: radiale, M: médiane, Cu: cubitale, Pcu: post-cubitale, A1 a A4: nervures anales, JU: nervures jugales, M et M': plaques distale et proximale, Sc1, Sc2, Sc3: sclérites axillaires (Dajoz, 2010).

1. 3. Abdomen

Ce tagma renferme la plus grande partie des principaux organes de l'insecte. Le nombre de segments abdominaux varie énormément avec des différences morphologiques en fonction de l'ordre. Embryologiquement, il y a douze segments abdominaux, chez les insectes primitifs, dix ou onze restent visibles, chez les plus évolués il y a habituellement neuf segments voire cinq ou six chez les coléoptères, il existe donc une réduction du nombre de segments en fonction de l'évolution de l'insecte (Roth, 1980). D'autres auteurs suggèrent que les segments s'invaginent

à l'intérieur de l'abdomen ou participent à la confection des pièces génitales (d'Aguilar et Fraval, 2004).

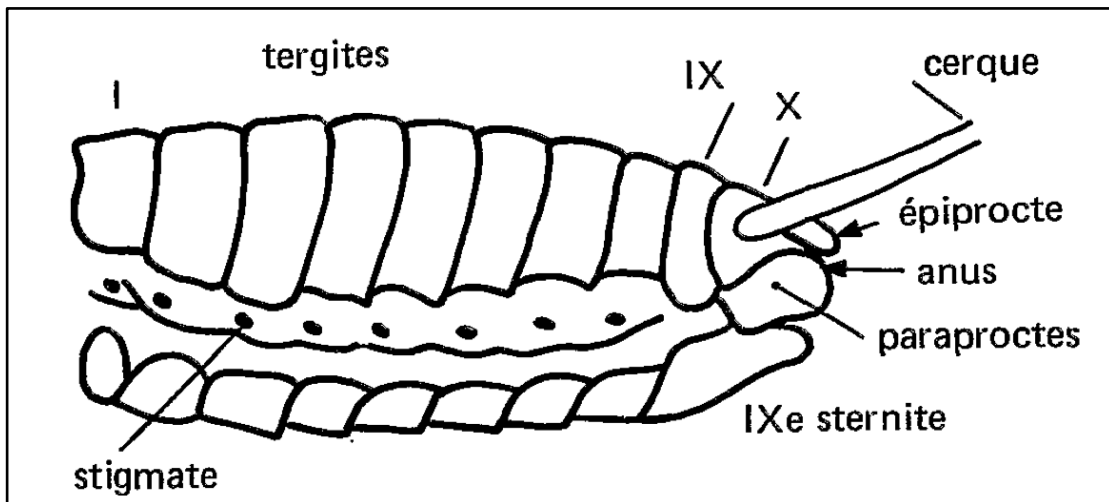


Figure 20. Extrémité abdominale d'un Diptère Muscidae (Roth, 1980).

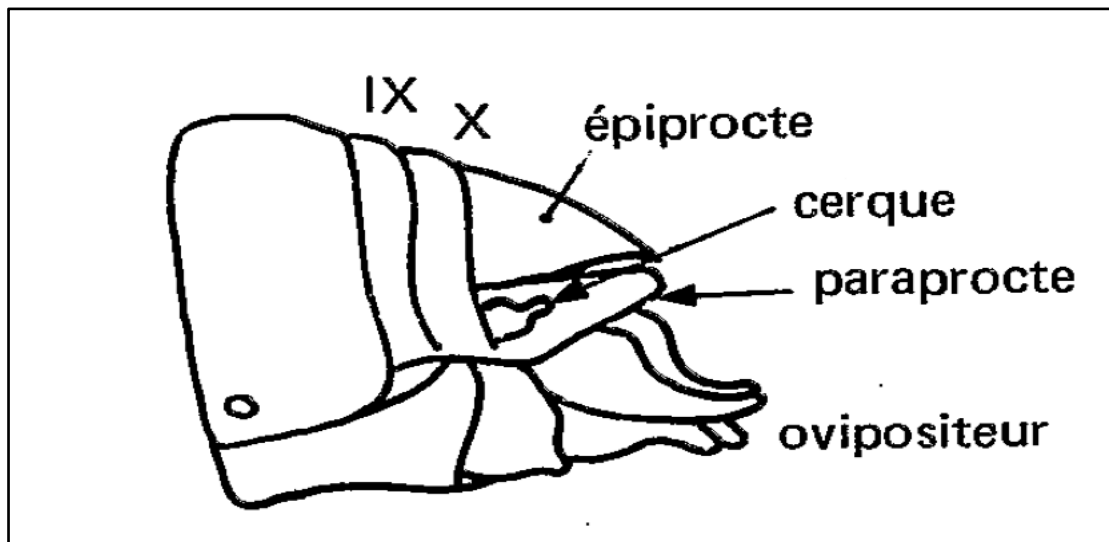


Figure 21. Extrémité abdominale d'un Embioptère femelle (Roth, 1980).

Les segments abdominaux tous particulièrement modifiés, chez les insectes, sont les segments génitaux. Chez les mâles, c'est toujours le 9^{ème} segment qui porte les organes copulateurs (sauf chez les Collemboles où le gonopore se situe entre les 5 et 6^{ème}), chez les femelles, la position de l'ouverture génitale est plus variable, parfois elle se trouve en arrière du 7^{ème}, mais le plus souvent sur le 9^{ème}, les 8^{ème} et 9^{ème} segments interviennent alors dans la formation des organes de ponte (Figure 20, 21) (Roth, 1980).

En ce qui concerne les segments postérieurs :

- le 10^{ème} absorbe souvent le 11^{ème}. Il peut porter une paire d'appendices tels que les cerques.
- le 11^{ème} segment est atrophié chez la plupart des Holométaboles, quand il existe encore, il fusionne avec le 10^{ème} et porte l'épiprocte et les paraproctes, les cerques sont implantés plutôt

au contact du 10ème ; lorsque ce 11ème segment disparaît, tous ces éléments se reportent sur le 10ème segment.

1. 3. 1. Appendices abdominaux: L'extrémité de l'abdomen peut aussi porter plusieurs appendices: cerques, urogomphes, cornicules, oviscaptes, forceps, aiguillon et pince (Figure 22).



Figure 22. Appendices abdominaux, **a** : cerque d'un orthoptère mâle à gauche et oviscapte d'une femelle à droite; **b**: urogomphes d'une larve de coléoptère à gauche et cornicules de puceron à droite; **c**: aiguillon d'un hyménoptère à gauche et forceps d'un Dermaptère à droite (11).

2. Anatomie interne

L'organisation interne de l'insecte est simple et la plus part des fonctions physiologiques sont logées au niveau de l'abdomen (Figure 23).

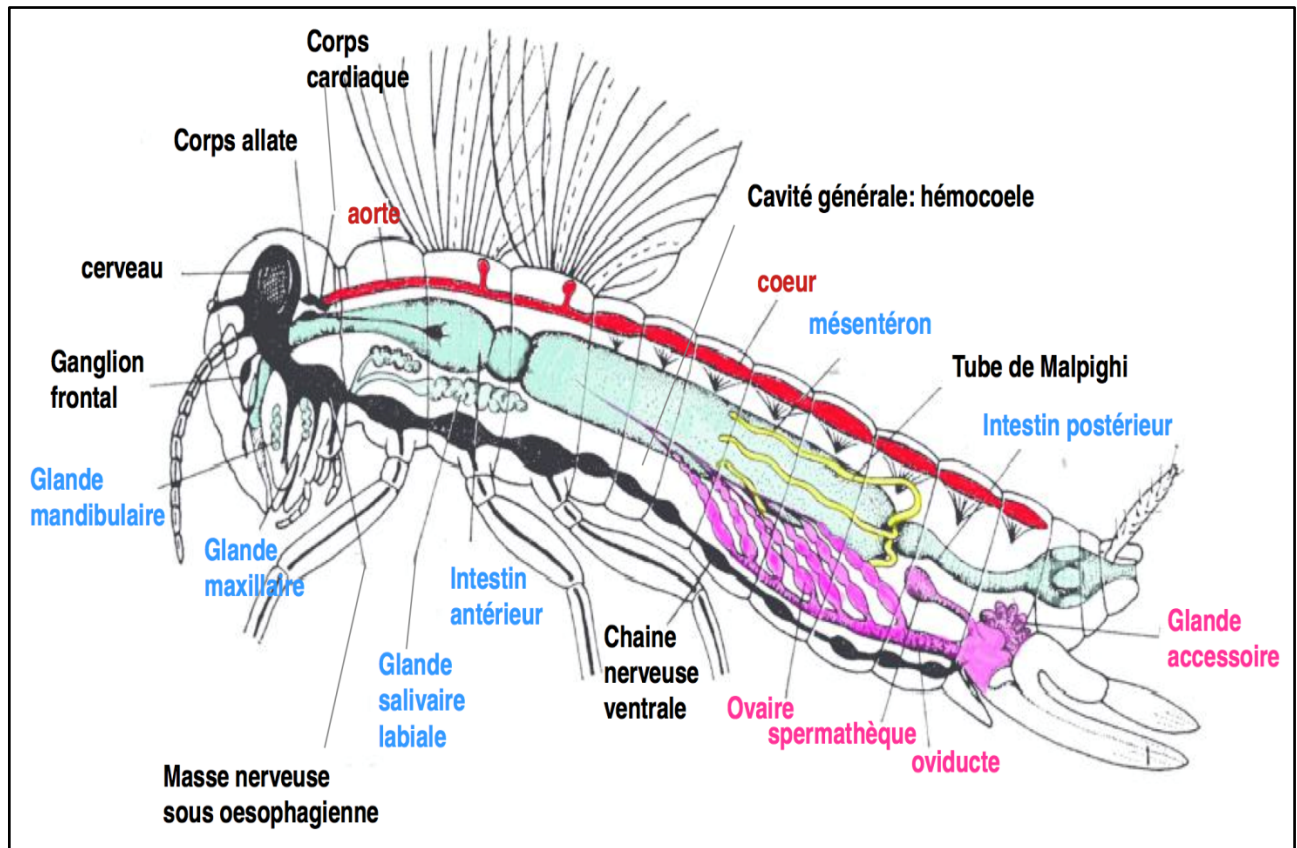


Figure 23. Schéma de l'organisation interne d'un insecte (4).

2. 1. Tégument

C'est une enveloppe externe rigide entourant le corps, cette carapace inextensible est régulièrement remplacée au cours de la croissance de l'animal: la mue, L'ancienne cuticule abandonnée est nommée **exuvie**. Le tégument est formé de plusieurs couches qui sont, de l'extérieur vers l'intérieur: l'épicuticule, l'exocuticule et l'endocuticule (Figure 24).

- l'**épicuticule** est caractérisée par l'absence de chitine (un polysaccharide azoté) et est divisée en épicuticule externe et épicuticule interne, relativement imperméable et freine les pertes d'eau par évaporation (Dajoz, 2010).

- L'**exocuticule** est une couche dure constituée par de la sclérotine, qui est un ensemble de protéines tannées qui est responsable de la dureté du tégument, et par la chitine.

- L'**endocuticule** est une couche épaisse et élastique constituée de protéines non tannées dites arthropodine.

L'**épiderme** est la couche unique de cellules sur laquelle reposent les diverses couches du tégument et dont l'endocuticule et l' exocuticule sont parcourues par des canalicules issus de ces dernières qui produisent aussi les soies et les écailles qui recouvrent souvent le corps des insectes.

Les sclérites sont reliés par de souples membranes également chitineuses, qui confèrent à l'animal une flexibilité et une grande liberté de mouvement.

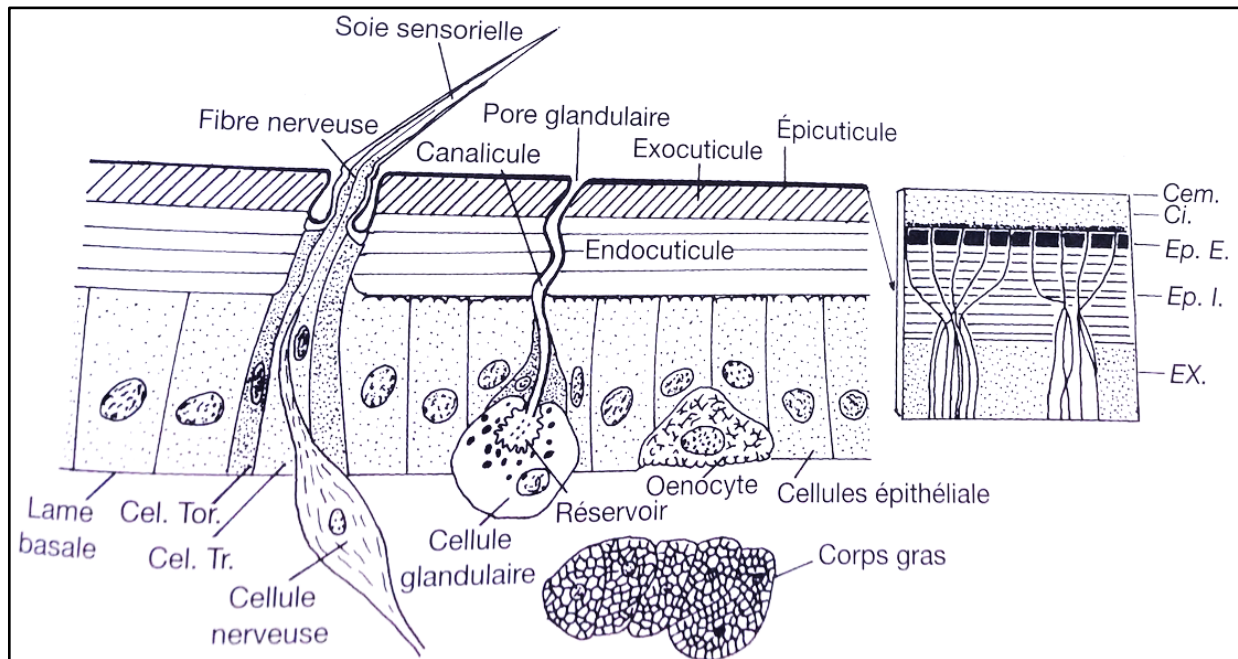


Figure 24. Structure du tégument d'un insecte et de deux de ses annexes, cellule glandulaire et soie sensorielle: Cel. Tor: cellule termogène, Cel. Tr: cellule trichogène, Cem: cément, Ci: couche de cires, Ep. E. et Ep. I. : épicuticule externe et interne, Ex: exocuticule (Dajoz, 2010).

2. 2. Système nerveux

Comme chez tous les animaux pluricellulaires, le système nerveux des insectes est formé de cellules nerveuses ou neurones provenant de l'ectoderme et interconnectées entre elles au niveau des synapses, elles se regroupent pour former des ganglions primitivement métamérisés. Trois parties principales forme ce système (Dajoz, 2010):

a. Cerveau: Situé dans la tête, en position dorsale par rapport au tube digestif. Anatomiquement on peut distinguer trois parties (Figure 25): Un **protocérébron** (cerveau antérieur) formé de deux volumineux lobes symétriques, sur chacun s'insèrent latéralement les lobes optiques innervant les ocelles et les yeux composés. Un **deutocérébron** (cerveau moyen) qui comporte deux lobes antennaires d'où se détachent deux nerfs antennaires. Un **tritocérébron** (cerveau postérieur) constitué par deux masses séparées par l'œsophage, il innerve le labre et n'est en relation avec aucun appendice.

b. Ganglion sous-œsophagien: C'est une masse nerveuse complexe reliée au cerveau par 2 connectifs passant de part et d'autre de l'œsophage constituant ainsi un collier péri-œsophagien situé en position ventrale sous l'œsophage et innervant les mandibules, les

maxilles et le labium.

c. Chaîne nerveuse ventrale: Située en position ventrale par rapport au tube digestif, au voisinage du sternite, sous le diaphragme ventral, elle comprend une paire de ganglions par segment.

Ce système central est en relation avec un système nerveux **sympathique** qui régule le fonctionnement des principaux viscères.

2. 3. Système circulatoire

C'est un système rudimentaire qui est logé dans la partie dorsale du corps entre le tergite et le diaphragme dorsal (Figure 26). Il est réduit en un vaisseau dorsal qui, au niveau de l'abdomen, constitue le **tube cardiaque** ou cœur, prolongé dans le thorax et la tête par une **aorte dorsale** (Figure 27). Le cœur, dont la contraction propulse le sang vers l'avant, est divisé en 7 à 11 ventricules qui communiquent entre eux par un système de valvules unidirectionnelles s'opposant au reflux du sang et communiquant par des pores d'ouverture **ostioles** (au singulier ostium) qui assure le retour au cœur de l'hémolymphe qui a circulé à travers le corps (Sherwood *et al.*, 2016).

a. Hémolymphe

Le sang ne joue pas un rôle dans la respiration qui est plutôt assurée par le système trachéen, il est dépourvu de pigments transporteurs d'oxygène (Gilles *et al.*, 2006). Il intervient dans le maintien de la constance du milieu intérieur et le transport des déchets du métabolisme, les protéines sanguines servent aussi lors de l'ovogenèse. Chez les insectes, les cellules sanguines **hémocytes** (Dajoz, 2010; Sherwood *et al.*, 2016) dérivant de cellule mésodermiques sont diverses et sont classées en 7 types: prohémocytes, plasmocytes, granulocytes, sphérulocytes, adipocytes, oenocytoïdes et coagulocytes. Elles jouent un rôle important dans:

- lors des phénomènes d'histolyse qui accompagnent la métamorphose.
- Phagocytose des particules étrangères.
- Encapsulation des parasites.
- Détoxification des poisons.
- Transport des hormones.
- Réparation des blessures.
- Stockage d'éléments nourriciers.

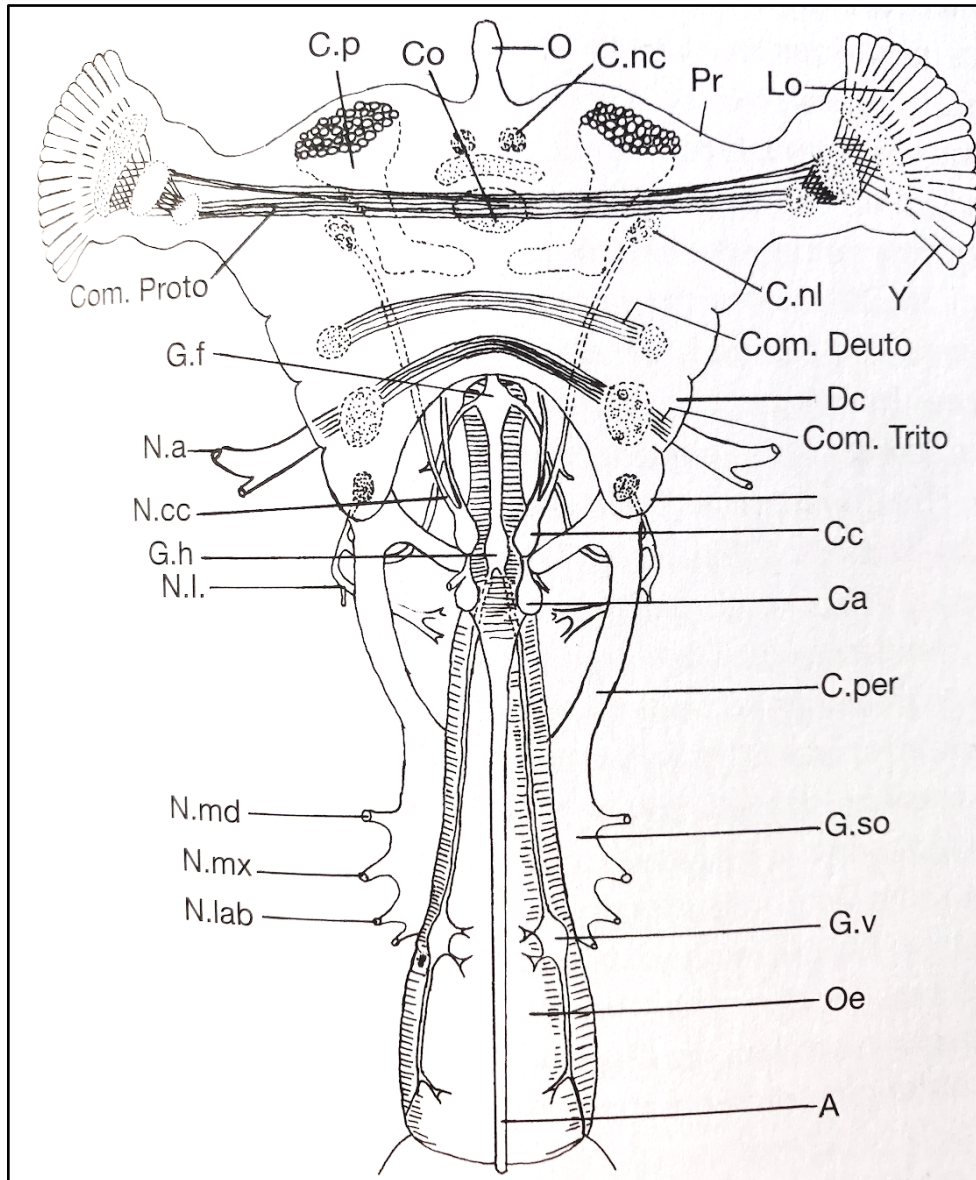


Figure 25. Schéma de la partie antérieure du système nerveux des insectes et de ces organes annexes: A: aorte, Ca: corpora allata, Cc: corpora cardiaca, C.nc: cellules neurosécrétrices centrales, C.nl: cellules neurosécrétrices latérales, Co: corps central, C.op: commissure optique, Com.Proto: commissure protocérébrale, Com.Deuto.: commissur eutocérébrale, Com.Trit: commissure tritocérébrales, C.p: corps pédonculé, C.per: collier péri-oesophagien, Dc: deutocérébron, G.f: ganglion frontal, G.h: ganglion hypocérébral, G.so: ganglion sous-oesophagien, G.v: ganglion paraventriculaire, lo: lobe optique, M.Ex: médulla externe, M.I.: médulla interne, N.a: nerf antennaire, N.cc: nerf des corpora cardiaca, N.md: nerf mandibulaire, N.lab: nerf labral, N.mx: nerf maxillaire, O: ocelle, Oe: œsophage, Pr : protocérébron, Tc :tritocérébron, Y: œil composé (Dajoz, 2010).

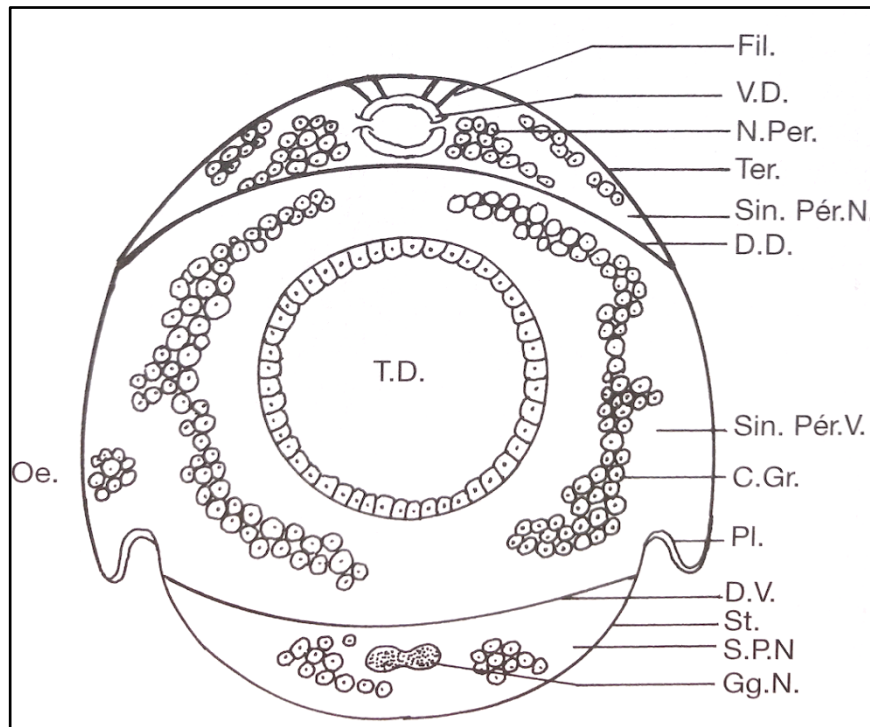


Figure 26. Coupe transversale de l'abdomen d'un insecte montrant l'emplacement des divers organes: DD: diaphragme dorsal, DV: diaphragme ventral, VD: vaisseaux dorsaux, Gg.N: ganglion nerveux abdominal, TD: tube digestif, Ter: tergite, St: sternite, Pl: pleurite, Oe: oenocytes, CG: cellules du corps gras, Fil.: Filaments tenseurs du vaisseau dorsal, N. Per: néphrocytes péricardiaques, Sin.Pér. N.: sinus périneural, Sin. Pér.V.: sinus périvericébral, C.Gr.: corps gras (Dajoz, 2010).

2. 4. Appareil digestif

Il comprend 3 segments limités par une seule couche de cellule: le segment antérieur: **stomodéum** ou intestin antérieur, le segment médian: **mésentéron** ou intestin moyen et le segment postérieur: **proctodéum** ou encore ou intestin postérieur (Dajoz, 2010).

- Le stomodéum se divise en plusieurs régions: la région buccale, le pharynx, l'œsophage, le jabot (poche servant au stockage de la nourriture) et le gésier (proventricule: possède souvent des dents permettant de triturer les aliments).

- Le mésentéron est le siège de la digestion et l'assimilation des aliments. A la jonction du mésentéron et du proctodéum débouchent les tubules de Malpighi qui jouent un rôle dans l'excrétion (Figure 28).

Etant donné que le système circulatoire des insectes est ouvert, la pression sanguine excède rarement celles des tissus, ainsi la circulation du sang dans les antennes, les pattes et les ailes est aidée par des organes pulsatiles situés à la base de ces parties du corps. Le remplissage du vaisseau dorsal est réalisé par succion grâce à une série de muscles aliformes qui rayonnent depuis le cœur et dont la contraction aspire le sang présent dans la cavité générale.

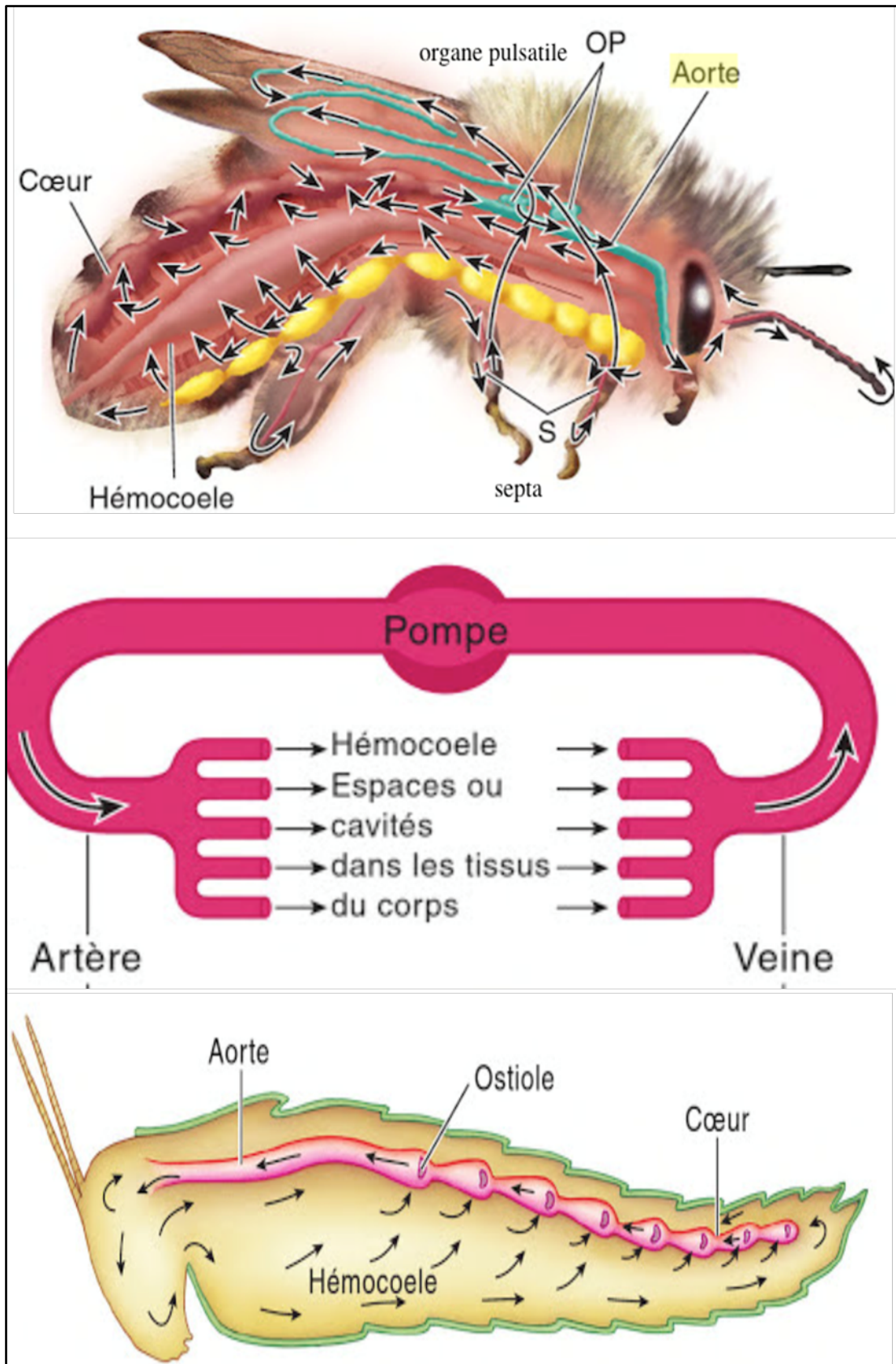


Figure 27. Système circulatoire ouvert d'un insecte: OP: organe pulsatiles = pompes axillaires, S= septa= canalisation de la circulation à travers les espaces (Sherwood *et al.*, 2016).

La bouche des insectes *sensu stricto* n'est pas visible et s'ouvre dans la cavité préorale située entre l'hypo et l'épipharynx (Figure 28). Cette cavité, présente directement devant la bouche, constitue le **cibarium**, où la nourriture passe. La cavité préorale contient également une autre chambre entre l'hypopharynx et le labium, appelée le **salivarium**, où la salive se déverse à partir d'une paire de glandes labiales ou salivaires. Ces glandes jouent un rôle prépondérant dans l'ingestion, le mouvement de nourriture et la digestion.

-Le proctodéum représente le lieu d'absorption de l'eau chez de nombreux insectes.

La digestion a lieu principalement dans le lumen du mésentéron, mais puisque des enzymes salivaires sont ingérées conjointement avec les aliments, une partie de la digestion débute également dans le stomodéum (Figure 30). Cette structure théorique du tube digestif est présente chez les insectes primitifs et beaucoup de larves, néanmoins, en fonction des différents régimes alimentaires, qui peuvent être incroyablement divers chez les insectes (Daly *et al.*, 1998), elle est sujet à de grandes variations (Figure 29).

2. 5. Appareil respiratoire

Il est formé essentiellement par (Figures 31, 32, 33):

a. Trachées: Ce sont des invaginations ectodermiques sous forme de tubes fins et déliés enveloppant tous les organes d'une trame serrée, se dilatant par endroits en sacs aériens volumineux et développés surtout chez les Insectes bon voiliers (réserve d'aire lors du vol). Il existe schématiquement deux gros troncs trachéens qui s'étendent de chaque côté du corps de la tête à l'extrémité de l'abdomen, ces deux troncs sont reliés par de nombreuses anastomoses transversales. Les trachées se ramifient en branches de plus en plus fines et se transforment en **trachéoles** qui sont le siège des échanges gazeux (Gilles *et al.*, 2006; Dajoz, 2010).

b. Stigmates: Les trachées débouchent au dehors par des ouvertures latérales du corps nommés stigmates (spiracles), ce sont des orifices qui s'ouvrent en général dans les membranes pleurales qui réunissent de chaque côté le tergite et le sternite. Il existe 2 types de stigmates (Figures 34, 35):

- **Stigmate simple:** Les trachées débouchent directement au niveau de la cuticule (Dajoz, 2010), Il n'y a aucun système de réduction des pertes en eau, les insectes qui présentent ce type de stigmate vivent dans un milieu humide (aquatique), la perte d'eau n'est donc pas un facteur limitant au développement de l'individu.

- **Stigmate complexe (à atrium):** Existe chez les insectes terrestres, l'orifice externe débouche dans une chambre sous-somatique dite **atrium** souvent munie d'un système filtrant et reliée à un dispositif de fermeture comprenant des muscles reliés à des formation cuticulaires et dont la commande est assurée par des centres nerveux afin d'éviter la perte en eau (Dajoz, 2010).

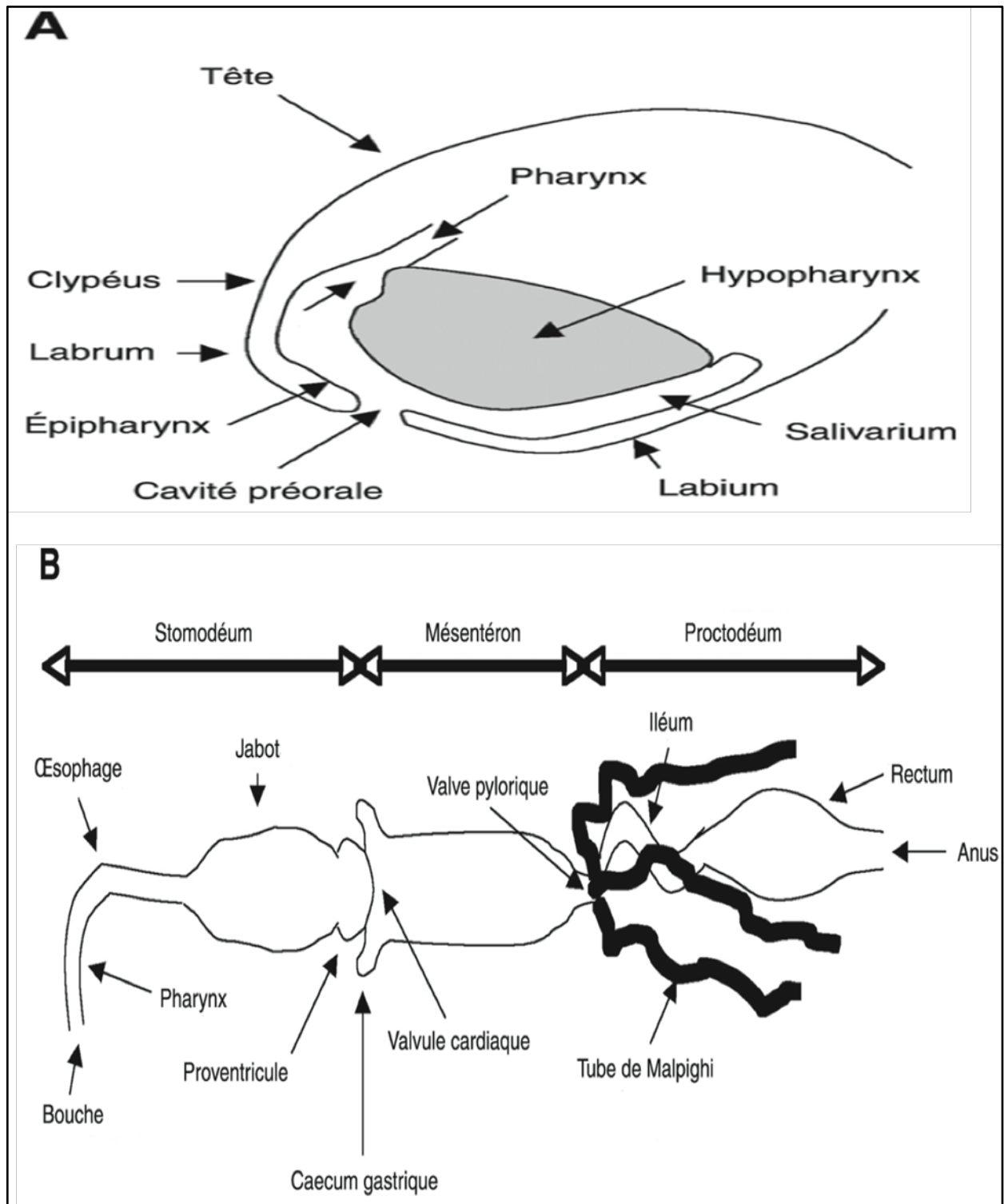


Figure 28. Vues schématiques de la tête (A) (Daly *et al.*, 1998) et du tube digestif (B) (Chapman, 1998).

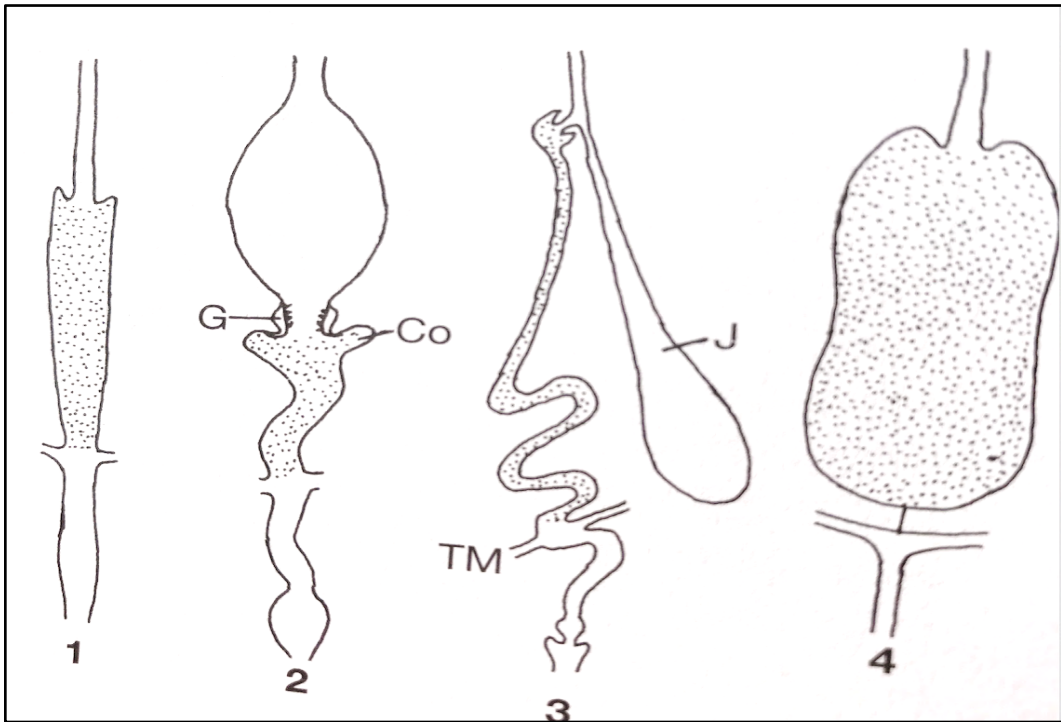


Figure 29. Quelques exemples d'appareil digestif, l'intestin moyen est représenté en pointillés: 1: type primitif de beaucoup de larves de Lépidoptères et de Coléoptères, 2: Orthoptères et Odonates, 3: Diptères supérieurs et Lépidoptères, 4: Larve d'Hyménoptères. G: gésier, Co: coecums, J: jabot, TM: tubes de Malpighi (Dajoz, 2010).

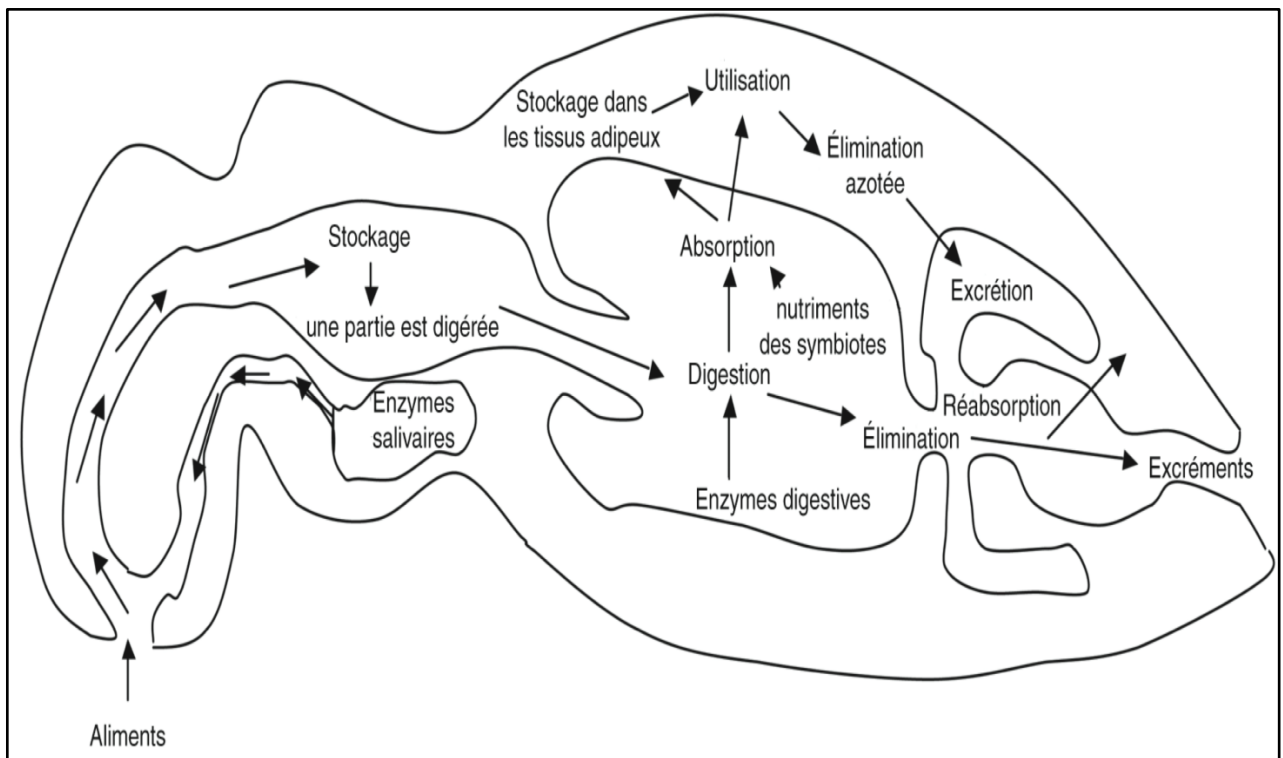


Figure 30. Vue schématique du trajet des nutriments et de leurs déchets chez les insectes (Daly *et al.*, 1998).

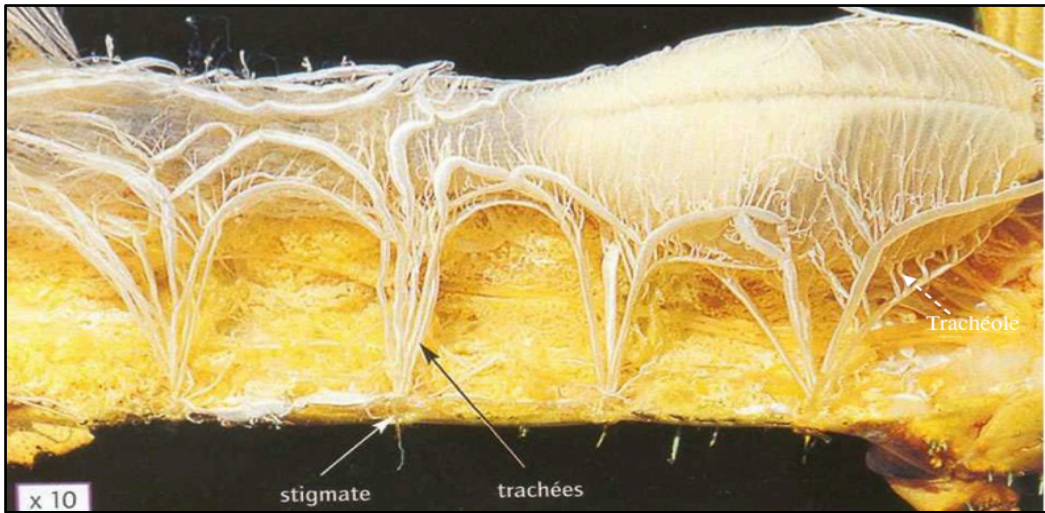


Figure 31. Système trachéen des insectes (14).

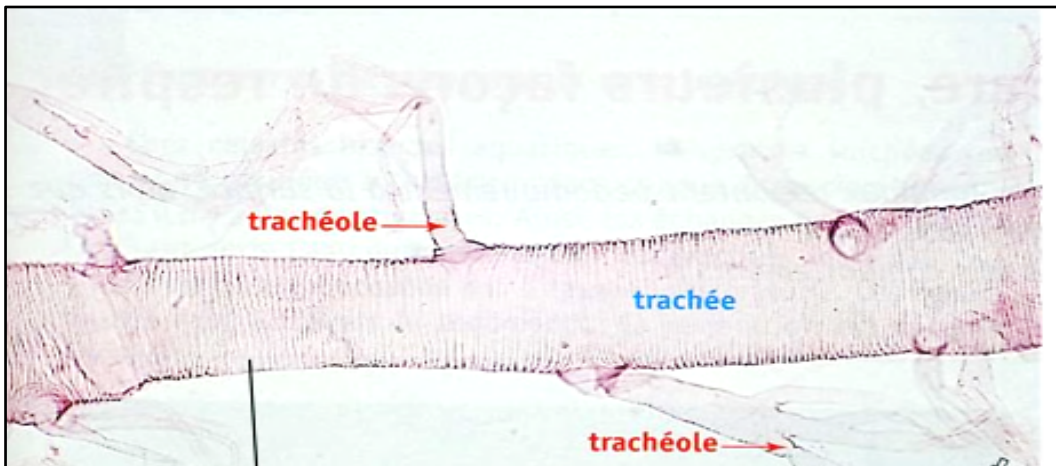


Figure 32. Trachée (14).

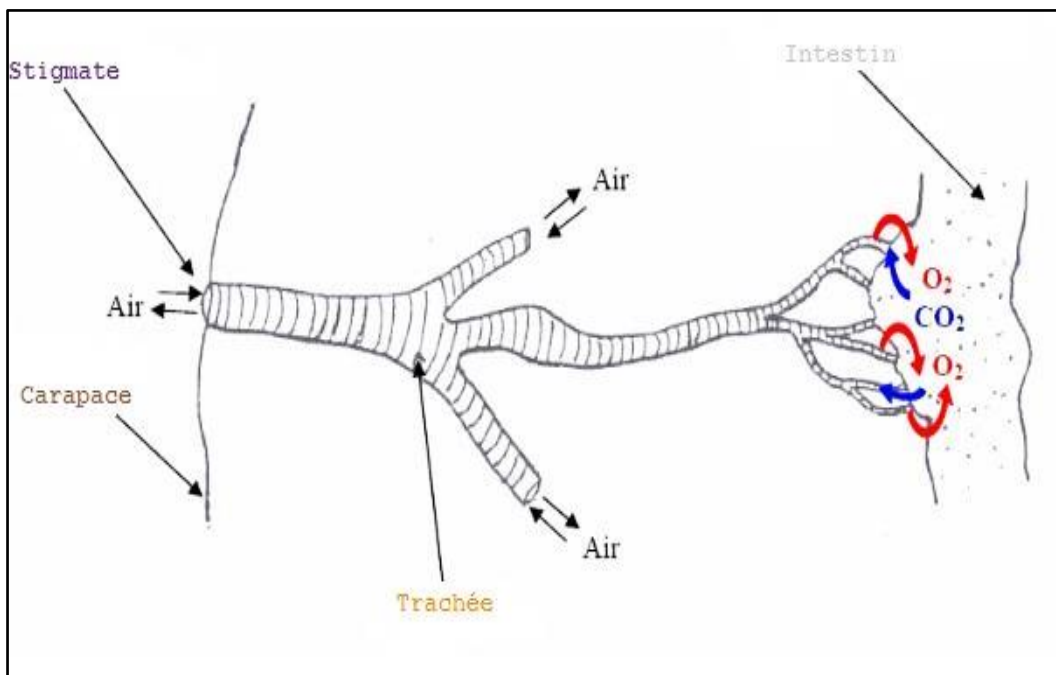


Figure 33. Respiration trachéenne chez les insectes (13).

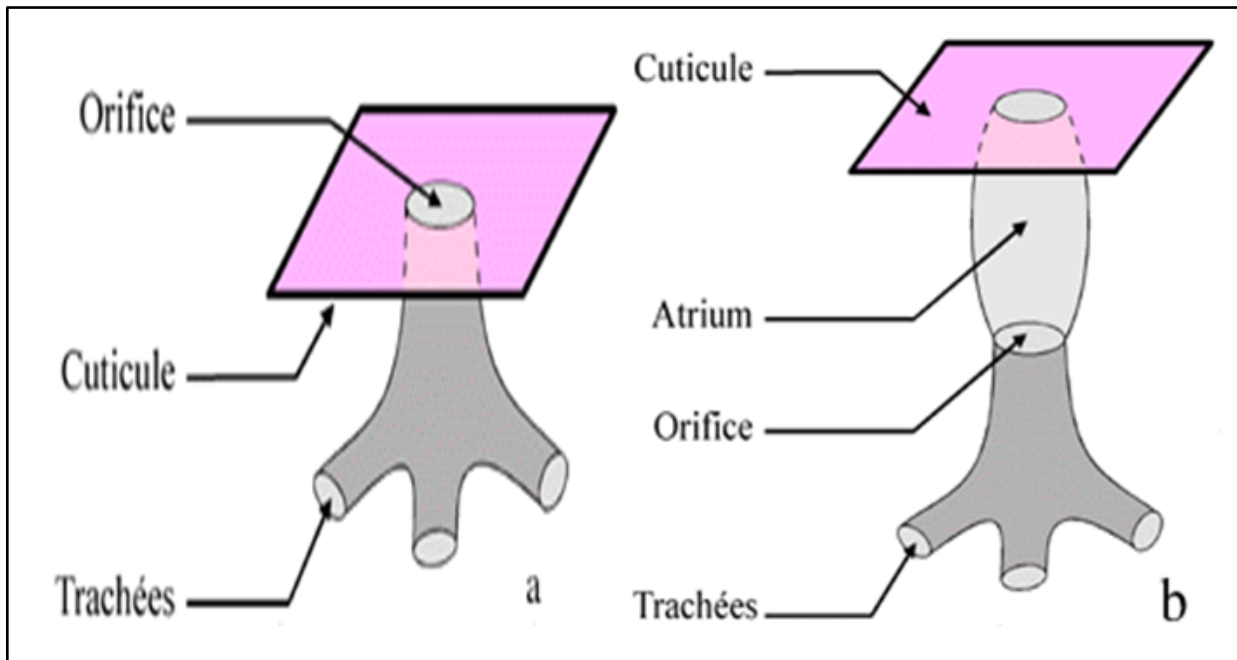


Figure 34. Schéma représentatif des deux types de stigmates, (a): stigmate simple, (b): stigmate complexe (13).

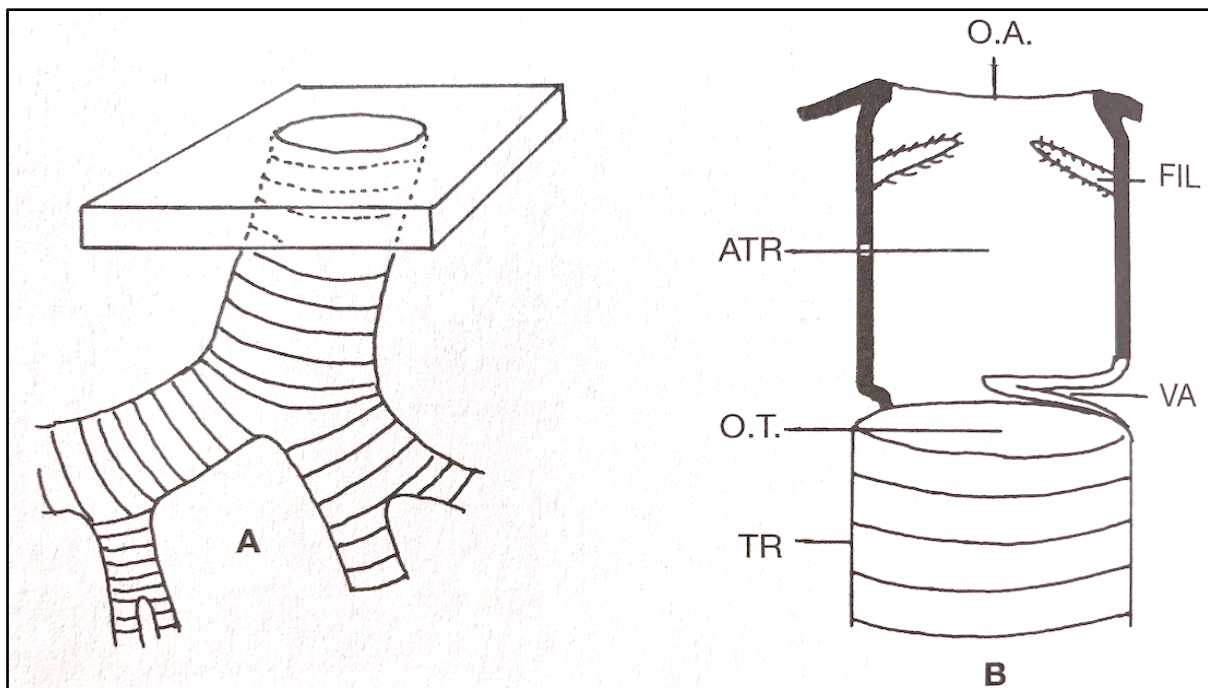


Figure 35. Stigmate simple et stigmate complexe: O.A.: orifice de la chambre stigmatique ou atrium, FIL: dispositif de filtration, ATR: atrium, VA: valve du dispositif de fermeture, O.T.: orifice trachéen, TR: trachée (Dajoz, 2010).

2. 6. Système excréteur

Chez les insectes, l'élimination des déchets toxiques dérivant du métabolisme est assurée principalement par les tubes de **Malpighi**. D'autres éléments peuvent également contribuer tels

que les **cellules péricardiales** qui sont des cellules isolées d'origine mésodermique situées çà et là dans le corps, chez les aptérygotes, il existe aussi des organes appelés **reins labiaux (céphaliques)** (Dajoz, 2010).

a. Tubes de Malpighi: Ceux sont des conduits épithéliaux aveugles limités par une seule couche épaisse de cellules, leur nombre est très variable: 4 chez les Diptères et les Hyménoptères et peut atteindre 50-60 chez les Odonates (Dajoz, 2010). Chaque tube est une formation longue et grêle fermée à son extrémité distale et qui débouchent dans le tube digestif à la limite du mésentéron et du proctodéum (Figure 23, 28 b). Ces tubes baignent dans l'hémolymphe de la cavité générale d'où ils extraient par leur portion distale les déchets, acide urique, urée, oxalate de calcium, chlorures, etc. Par leur paroi moyenne, ils interviennent dans le métabolisme de l'eau dont ils réabsorbent une partie. En premier, des ions K^+ sont transportés dans l'extrémité proximale du tubule entraînant Cl^- par attraction de charge puis l'eau par osmose. Le fluide tubulaire est ensuite modifié au cours de son cheminement vers l'extrémité distale du tubule; dans le rectum, de grandes quantités d'eau sont réabsorbées (Figure 36).

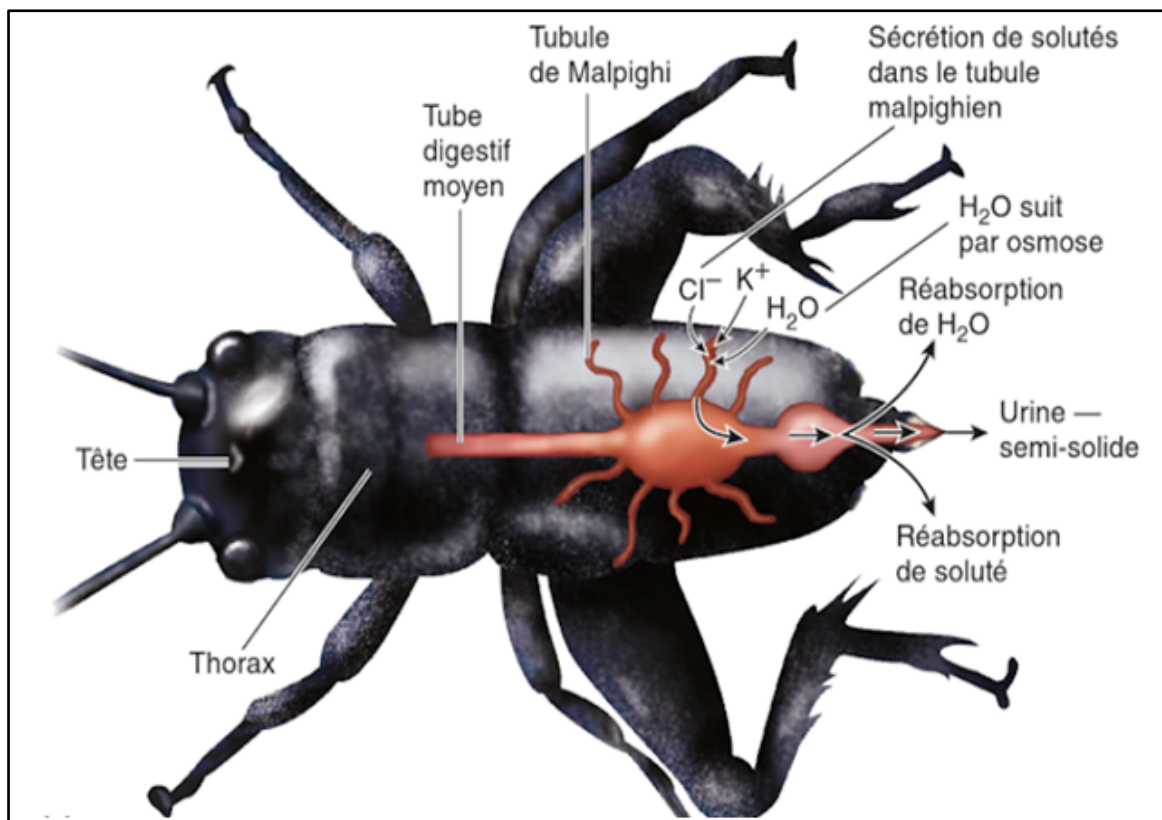


Figure 36. Disposition et rôle des tubes de Malpighi (Sherwood *et al.*, 2016).

b. Cellules péricardiales et néphrocytes: Ces cellules d'origine mésodermique sont situées dans le sinus péricardial de chaque côté du cœur (Figure 23); elles absorbent et dégradent les substances protéiques avant de les rejeter dans l'hémolymphe d'où elles seront

extraites par les tubes de Malpighi.

c. Reins céphaliques: Certains aptérygotes ont, en plus des tubes de Malpighi des reins céphaliques (=labiaux= maxillaires), qui ont un rôle excréteur. Ces glandes sont formées d'un épithélium formé de cellules semblables à celle des tubes de Malpighi, elles éliminent des déchets qui sont injectées dans l'hémocoèle.

2. 7. Appareil reproducteur

a. Appareil reproducteur femelle: Il comprend (Figure 37):

- 2 **ovaires** chacun constitué par un nombre variable de **tubes ovogères** ou **ovarioles** (un seul ovaire gauche avec un seul ovariole chez le Coléoptères Scarabaeidae du genre *Scarabaeus* et jusqu'à 24000 ovarioles par ovaire chez les termites) (Dajoz, 2010).
- Les ovarioles aboutissent à un **calice** qui correspond à la base élargie de l'oviducte.
- Deux oviductes latéraux qui fusionnent pour former un unique oviducte médian.
- Celui-ci se termine par l'organe d'accouplement ou **vagin** dans lequel débouchent des glandes accessoires dont le nombre et la forme sont très variés, il existe en particulier une **spermathèque** qui reçoit le **spermatophore**.

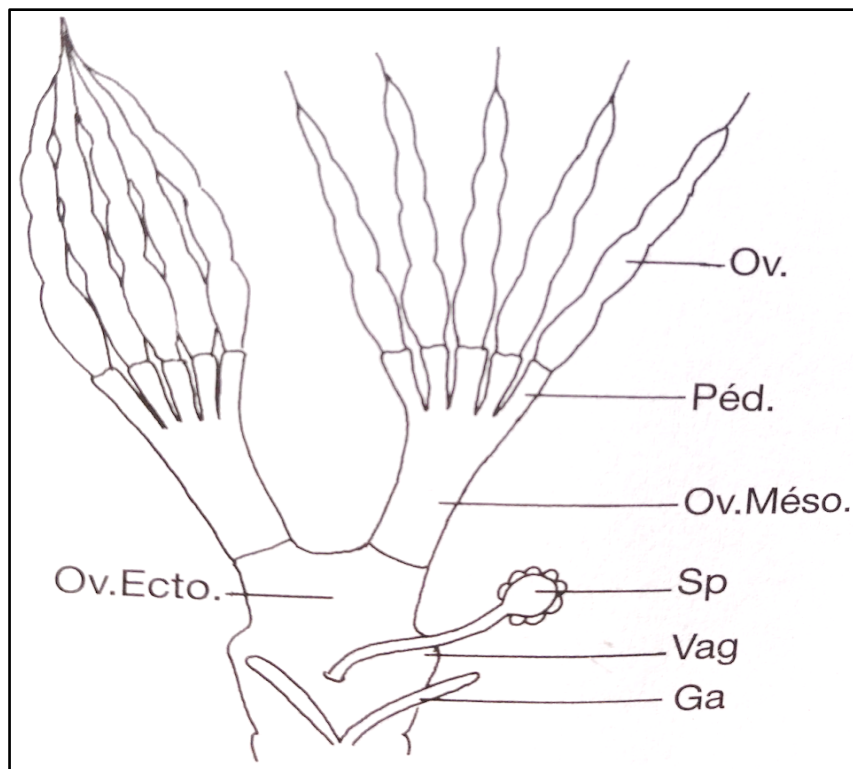


Figure 37. Schéma de l'appareil reproducteur femelle: Ovo: varioles, Ped: pédicelles, Om: oviducte mésodermique, Oe: oviducte ectodermique, Vag: vagin, Sp: spermathèque, Ga: glandes annexes ou glandes collatérales (Dajoz, 2010).

b. Appareil reproducteur mâle: Il plus uniforme que celui des femelles, on reconnaît

(Figure 38):

- Deux **testicules** constitués par des faisceaux de tubes séminifères en nombre variable, 4 chez les Lépidoptères et très nombreux chez les Orthoptères; ils sont reliés à un canal commun et entourés par une gaine qui donne à chaque testicule une forme ovoïde.
- Deux **spermiductes** qui évacuent les spermatozoïdes et qui aboutissent à un canal éjaculateur.
- Celui-ci débouche dans un organe d'accouplement, le **pénis** ou **édéage** qui possède des glandes accessoires: les mésadénies et les ectadénies dont le rôle est, en particulier, d'englober les spermatozoïdes dans un spermatophore dont la forme est souvent complexe. L'édéage varie beaucoup dans sa forme et sa structure, elle constante au sein de l'espèce et constitue souvent le meilleur critère de reconnaissance des espèces.

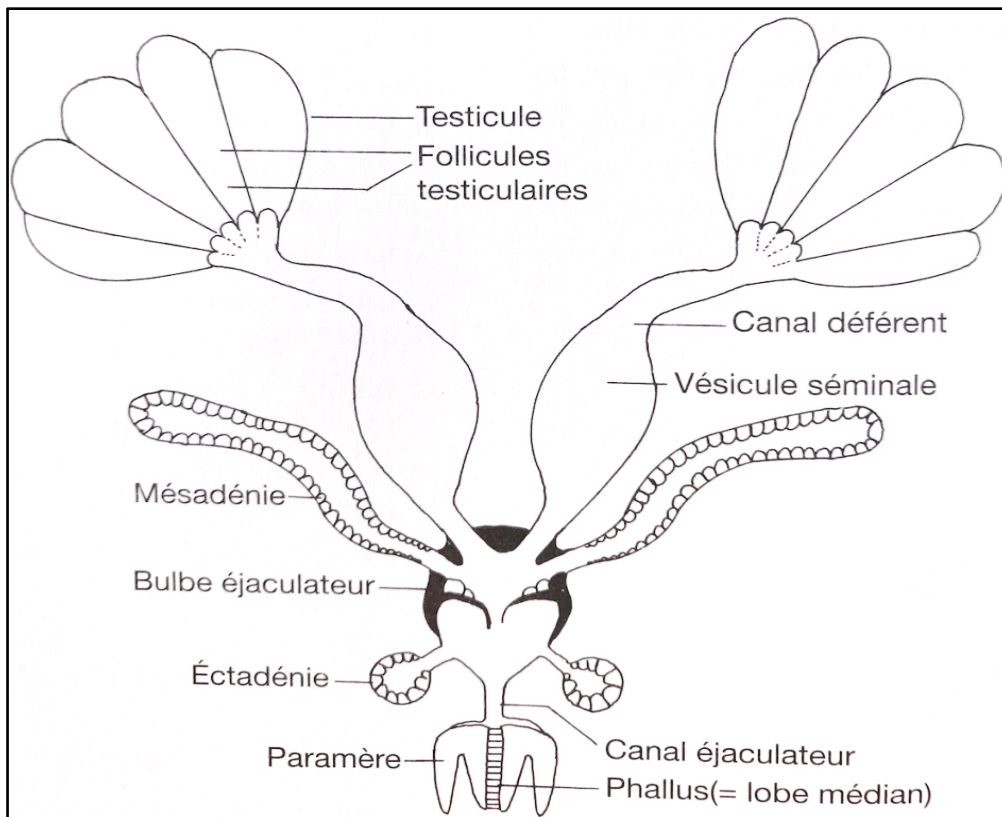


Figure 38. Schéma de l'appareil reproducteur mâle d'un insecte (Dajoz, 2010).

c. Type de reproduction: La reproduction des insectes est, dans la règle, toujours sexuée. Les sexes sont toujours séparés manifestant souvent un dimorphisme assez prononcé, l'hermaphrodisme et la parthénogenèse sont des exceptions. La reproduction parthénogénétique est rencontrée chez certains insectes où les mâles n'existent pas ou sont très rares, ou seulement

pendant certaines périodes, les femelles donnent alors naissance à des individus eux-mêmes de sexe femelle. Les causes de ce comportement varient selon les espèces:

- Chez les générations estivales des Hémiptères Aphidoidea, la parthénogenèse permet la succession rapide de plusieurs générations, donc une multiplication intensive.
- Chez certains Lépidoptères, elle facilite la survie lors de saisons défavorables
- Chez les Hyménoptères (abeille domestique par exemple), elle détermine le sexe de la descendance (les faux-bourdons sont issus d'œufs non fécondés). Les faux-bourdons mis à part, ce sont toujours des femelles qui sortent des œufs non fécondés.

La reproduction des insectes est contrôlée par des hormones tels que l'**ecdysone** et l'**hormone juvénile**, qui agissent dans les deux sexes. Ces hormones contrôlent le fonctionnement de l'appareil reproducteur, mais n'influent pas sur la détermination des caractères sexuels, qui sont strictement déterminés de manière génétique. Les hormones de type phéromones jouent aussi un rôle majeur dans l'attraction et la reconnaissance des individus au sein d'une espèce.

Développement des insectes

La croissance et le développement de la majorité des insectes est réalisée par **oviparité**, cependant, il existe des espèces chez lesquelles le développement embryonnaire commence dans l'organisme de la femelle et les larves éclosent au moment de la ponte (**ovoviviparité**) ou bien ce sont des larves qui sont mises au monde, voire des nymphes, ces deux derniers modes de reproduction correspondent à **la viviparité**.

En raison de la rigidité de leur cuticule inextensible, les insectes pour grandir, doivent muer pour se débarrasser de l'ancienne cuticule (exuvie) et en former une nouvelle plus grande (Leraut, 2003; Bellmann, 2015). Les transformations qui affectent l'insecte depuis la larve jusqu'à l'adulte sont dites **métamorphoses**. Le développement des insectes peut être divisé en deux stades: le développement embryonnaire qui a lieu dans l'œuf après la fécondation et le développement post-embryonnaire qui commence après l'éclosion souvent à l'aire libre (Dajoz, 2010).

Des périodes d'arrêt de croissance peuvent avoir lieu au cours du développement, ce sont les **diapauses**, elles permettent de coïncider le développement avec les conditions environnementales favorables. La vie de l'insecte peut être ainsi entrecoupée de plusieurs épisodes: mues (écdysies), métamorphose et diapause dont le nombre et les modalités présentent une diversité extraordinaire. Bien que le nombre de mues varie fortement selon les ordres, le nombre de mue est en règle générale fixe pour chaque espèce, les femelles ont souvent un nombre de stades larvaires plus élevé que les mâles (Dajoz, 2010). La plus part des espèces réalisent au maximum dix mues; par ailleurs, les insectes archaïques tel que les collembolles continuent à muer toute leur vie (Leraut, 2003).

Chez les insectes, des mues peuvent même se produire pendant le développement de l'embryon. Le stade larvaire (**instar**) qui sépare deux mues successives est parfois caractérisé par une morphologie particulière (chez les insectes holométaboles). La dernière mue précédant le stade adulte est nommée mue **imaginale**, qui une fois atteint, leurs ailes sont bien développées et ne grandissent plus.

1. Développement embryonnaire: L'œuf de l'insecte est très riche en vitellus. Celui-ci est situé au centre de l'œuf ; le développement embryonnaire se fait à ses dépens, mais nécessite aussi de l'eau et de l'air. L'œuf d'insecte est généralement recouvert et protégé par une enveloppe rigide (**le chorion**) imperméable. À un pôle, dit **hydropyle**, l'eau est absorbée et permettra le développement embryonnaire. Le manque d'eau (anhydrobiose) en période de sécheresse empêche le développement; l'œuf est en état de dormance ou quiescence qui

s'achève dès que l'eau devient disponible. L'air (oxygène) est également absorbé à travers le chorion grâce à des pores, canalicules ou autres dispositifs différents selon les espèces. Ainsi, grâce au vitellus, à l'eau et à l'oxygène, le développement embryonnaire va pouvoir se réaliser à l'intérieur de cette enveloppe qu'est le chorion.

La segmentation de l'œuf débute par la division du noyau de fécondation dont la multiplication s'accompagne d'une migration des noyaux formés vers la périphérie (pôle postérieur) de l'œuf où ils forment une couche régulière correspondant à la bandelette embryonnaire ou **blastoderme** ou encore **bande germinative** qui sera à l'origine des cellules sexuelles (**germen**). (Figure 1).

Cette dernière s'épaissit en une, ébauche du futur embryon. Dans l'axe de cette bande germinative apparaît alors un sillon ou **gouttière gastrale**. La gastrulation s'amorce et conduit à la différenciation de trois feuilletts embryonnaires: externe ou ectoderme, interne ou endoderme et moyen ou mésoderme. Au moment où la gouttière gastrale se referme, il se forme au dessus de l'embryon une **cavité amniotique**. L'ectoderme se différencie en profondeur en deux cordons cellulaires qui correspondent aux ébauches de la chaîne nerveuse. Au niveau de chaque segment, il s'invagine pour donner une paire de trachées. À l'avant et à l'arrière de la gouttière gastrale fermée, l'invagination de l'ectoderme réalise l'intestin antérieur et l'intestin postérieur.

Le reste de l'ectoderme constitue le tégument de l'insecte. Le mésoderme forme, par segment, une paire de sacs *cœlomiques*, qui se dissocie et d'où dérivent: muscles, cœur, gonades, tissu adipeux... et se réalise alors la cavité générale de l'insecte. L'endoderme se différencie dans l'axe de l'embryon, formant l'intestin moyen, qui s'abouche à l'intestin antérieur et à l'intestin postérieur d'origine ectodermique. Plus tard se forment les appendices, en principe une paire par segment de l'avant vers l'arrière. Apparaissent ainsi les antennes, puis les pièces buccales, les trois paires de pattes et enfin des appendices abdominaux (15).

2. Eclosion: Au cours de son développement, l'embryon baigne dans le liquide amniotique. À la fin de son développement, alors que sa cuticule est formée, l'embryon aspire par son pharynx: ce liquide amniotique et occupe ainsi la totalité de la coque de l'œuf. Pour éclore, la larve doit rompre le chorion, souvent très rigide, sa rupture est assurée par l'action conjuguée des contractions musculaires de la jeune larve et l'existence de zones de moindre résistance. De plus, certaines larves sont munies, à la naissance, sur leur tête, d'un "ouvre-œuf" ou « ruptor ovi », sorte d'épine ou lame dentée chitineuse. Cette cuticule embryonnaire dont le ruptor ovi est souvent abandonnée à l'éclosion (mue embryonnaire). Enfin, certains embryons dissolvent le chorion de l'œuf par des enzymes (chitinases et protéases) émises dans le liquide amniotique; et l'on a démontré que ces enzymes sont produites par des appendices du

premier segment abdominal, devenus glandulaires (15).

3. Mue: c'est un processus qui permet la croissance de l'insecte et par lequel il renouvelle son tégument, sa cuticule et en même temps toutes les productions tégumentaires cuticulaires: soies, poils, appareils sensoriels, trachées, parties antérieure et postérieure de l'intestin... .

La mue est un phénomène histologique qui se déroule en plusieurs étapes. Un insecte qui mue cesse de s'alimenter et s'immobilise. Les cellules de l'hypoderme se détachent de l'ancienne cuticule et commencent à en sécréter une nouvelle: d'abord l'épicuticule, puis l'exocuticule, enfin une partie de l'endocuticule (15). En même temps, l'hypoderme exsude entre ancienne et nouvelle cuticule un liquide, le **liquide exuvial**, riche en enzymes (chitinases et protéases) dont la fonction est de digérer une grande partie de l'endocuticule de l'ancienne cuticule, ce qui facilitera le phénomène d'exuviation, élimination de ce qui reste de l'ancienne cuticule et que l'on appelle l'**exuvie** (10 à 20 % de la cuticule). Elle n'est possible que parce que l'ancienne est digérée en grande partie (80 à 90 %) et parce que existent des lignes de moindre résistance (Figure 2).

Les matériaux sont réutilisés pour la synthèse cuticulaire et grâce aux contractions des muscles qui créent une pression interne et provoquent la rupture de l'ancienne cuticule le long des lignes de moindre résistance. L'insecte s'extrait alors par la fissure de l'ancienne cuticule. Pendant et juste après l'exuviation, l'insecte se gorge d'air afin d'avoir le corps distendu à l'extrême. La cuticule encore souple se déplisse au maximum puis, au contact de l'air, elle va se durcir et se colorer (mélanser). La mélanisation est un phénomène rapide qui est réalisé en une heure. Par contre, le durcissement est plus lent et peut durer plusieurs jours voire plusieurs semaines. Il correspond à la fois à la sclérotinisation (transformation de la cuticule en sclérotine) et à l'accroissement en épaisseur des couches profondes de la cuticule.

4. Développement post-embryonnaire: À l'éclosion, la larve doit subir des transformations plus ou moins importantes avant d'atteindre le stade adulte reproducteur (le stade imago). On distingue quatre types de développement post-embryonnaire d'où quatre groupes d'insectes (Figures 3, 4):

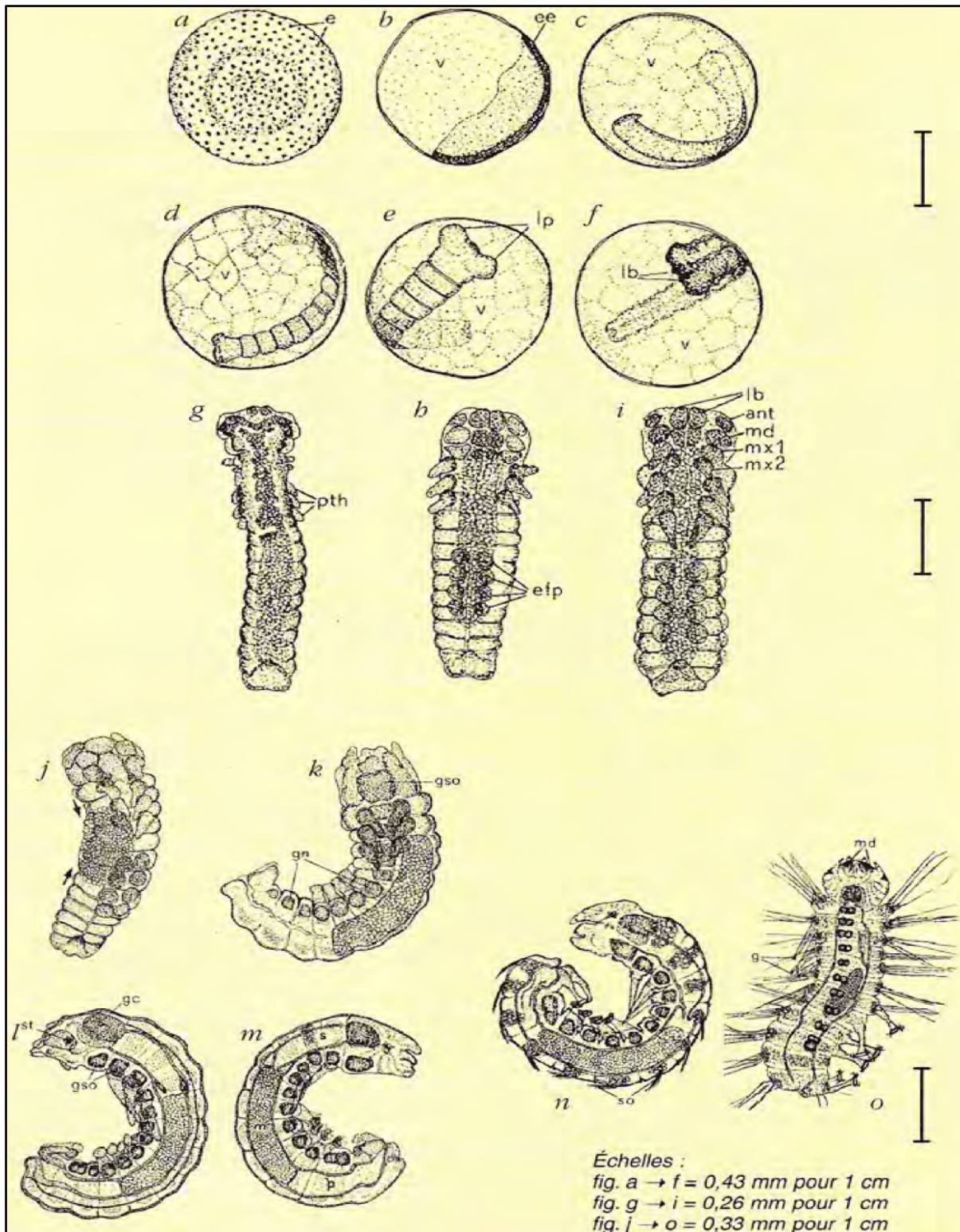


Figure 1. Développement embryonnaire de *Lymantria dispar* (Lépidoptère Lymantriidae) (15):
a: 1^{er} jour après la ponte. Les noyaux de segmentation "énergides" (e) ont colonisé la totalité de l'œuf.
b: 2^e jour après la ponte. Ébauche embryonnaire (ee) initiale vue de profil ; vitellus (v).
c: 3^e jour après la ponte. Allongement de la bandelette, début de la blastokinèse; vitellus (v).
d et e: 4^e jour après la ponte (d : vue abdominale, e: vue céphalothoracique. Métamérisation de la bandelette, élargissement des lobes procéphaliques (lp); vitellus (v).
f et g: 5^e jours après la ponte (f: embryon avec vitellus. Gnathocéphalon en vue ventrale, g: embryon isolé du vitellus en vue dorsale). Changement de position de l'embryon. Apparition des ébauches appendiculaires. Ébauches des pattes thoraciques (pth), ébauches paires du labre (lb).

h: 6^e jour après la ponte: progression de la fermeture dorsale (entre les deux flèches). Ébauches des fausses pattes abdominales (efp).

i: 7^e jour après la ponte. Allongement des ébauches des divers appendices. Labre (lb), antenne (ant), mandibules (md), maxillules (mx1), maxilles (mx2).

J: 8^e jour après la ponte. Progression de la fermeture dorsale vers l'avant et vers l'arrière (entre les deux flèches). L'embryon est sur le point de tourner autour de son axe de symétrie.

k: 9^e jour après la ponte. Achèvement de la fermeture dorsale. L'embryon a effectué sa rotation autour de son axe longitudinal. Ganglions nerveux (gn), ganglions sous-œsophagiens (gso).

l: 10^e jour après la ponte. Ganglions cérébroïdes (gc); stemmates (st); mésentéron (m). Rapprochement des extrémités de l'embryon.

m: 11^e jour après la ponte. Le rapprochement antéro-postérieur s'accroît. L'intestin moyen ou mésentéron (m) se rétrécit alors que l'intestin antérieur ou stomodeum (s) s'allonge. Proctodeum (P).

n: 12^e jour après la ponte. Apparition des soies (so) qui sont encore plaquées contre le corps.

o: 5^e jour après la ponte. Morphogénèse achevée, pigmentation accrue des mandibules (md), des griffes (g) et du corps.

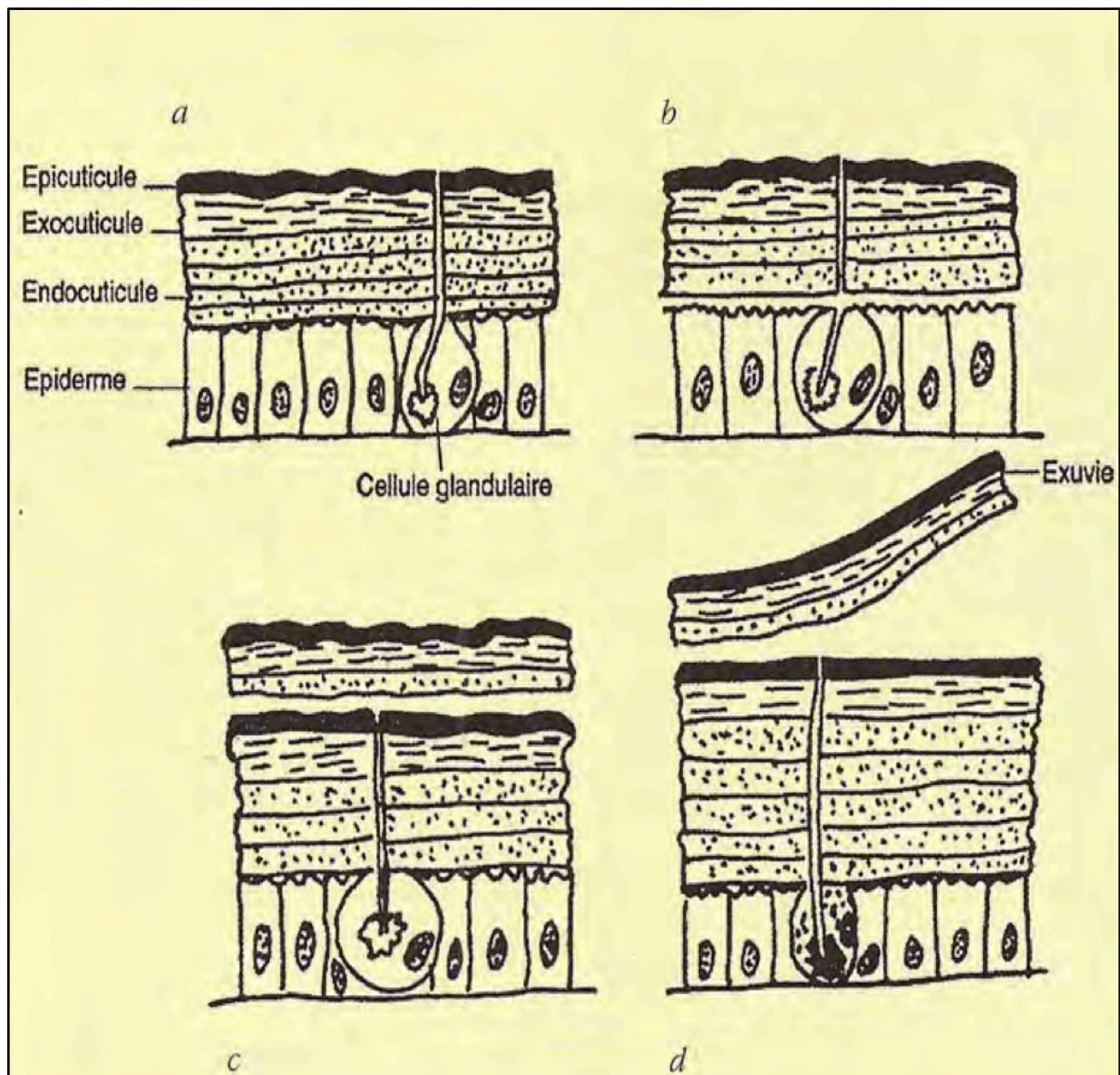


Figure 2. Etapes de la mue: **a**: tégument au repos; **b**: début de la mue, la cuticule se sépare de l'épiderme et commence sa lyse (apolyse); **c**: sécrétion de la nouvelle cuticule et résorption de l'ancienne; **d**: exuviation et fin de synthèse de la nouvelle cuticule (15).

4. 1. Insectes amétaboles: Ceux sont les insectes primitifs (Protoures, Thysanoures et Collembolles), le jeune, à la naissance, est parfaitement identique à l'adulte. Les mues successives n'affectent que sa taille. À la dernière, ses gonades deviennent fonctionnelles et l'armature génitale bien visible : cette mue est dite imaginale et l'individu formé est un adulte sexué ou imago. Ces insectes sans métamorphose sont actuellement séparés, au sein des Hexapodes, des insectes (vrai) sous le nom d'entognathes (15).

4. 2. Insectes hétérométaboles paurométaboles: Les larves jeunes ne diffèrent de l'imago que par la taille, l'absence des ailes et des organes génitaux. Le mode de vie (habitat et alimentation) est le même (**cycle holobiontique**). Le développement est progressif et les ailes apparaissent peu à peu sous forme d'expansions externes du méso et du métathorax (15). La mue imaginale montre une croissance accélérée des pièces génitales et des ailes donnant un adulte qui ne mue plus. Exemple: Orthoptères, Hémiptères, Hétéroptères.

4. 3. Insectes hétérométaboles hémimétaboles: L'éclosion donne une larve différant de l'adulte par sa taille, l'absence de pièces génitales et d'ailes. Toutefois, la larve se distingue de l'imago par son habitat et son mode de vie (15). Le cycle se déroule sur deux type de milieu avec souvent, une larve aquatique et un adulte terrestre (**cycle amphibiontique**). Ce sont des exoptérygotes dont les ébauches alaires apparaissent au cours du stade qui précède l'imago et qui correspond au stade nymphal.

Exemple: Odonates, Ephéméroptères.

Remarque: une particularité est à noter chez les éphéméroptères, fait unique dans le monde des insectes, ils passent par un stade **subimago** intermédiaire, également ailé, avant de devenir pleinement imago. À ce stade, ils sont déjà capable de voler, mais ils ne sont pas complètement développés, ce n'est qu'à la mue suivante, la dernière, que l'adulte devient parfait (Bellmann, 2015).

4. 4. Insectes holométaboles: La larve est très différente de l'adulte, par son organisation morphologique et anatomique, par son habitat et mode de vie et par son régime alimentaire. Ce groupe constitue la grande majorité des insectes. Après plusieurs mues larvaires, pendant lesquelles elle grandit identique à elle-même, elle se transforme en nymphe (ou chrysalide des Lépidoptères, pupes des Diptères) grâce à une mue nymphale (15).

Il s'agit d'un stade immobile à l'intérieur duquel ont lieu histolyse des tissus larvaires et histogénèse des organes de l'adulte (y compris la formation des ailes: insectes endoptérygotes). De la nymphe sortira l'adulte pourvu d'ailes : c'est la mue imaginale. Le développement d'un insecte holométabole est donc entrecoupé par des mues larvaires, une mues nymphale et une

imaginale .

Exemple: Coléoptères, Lépidoptères, Diptères, Hyménoptères.

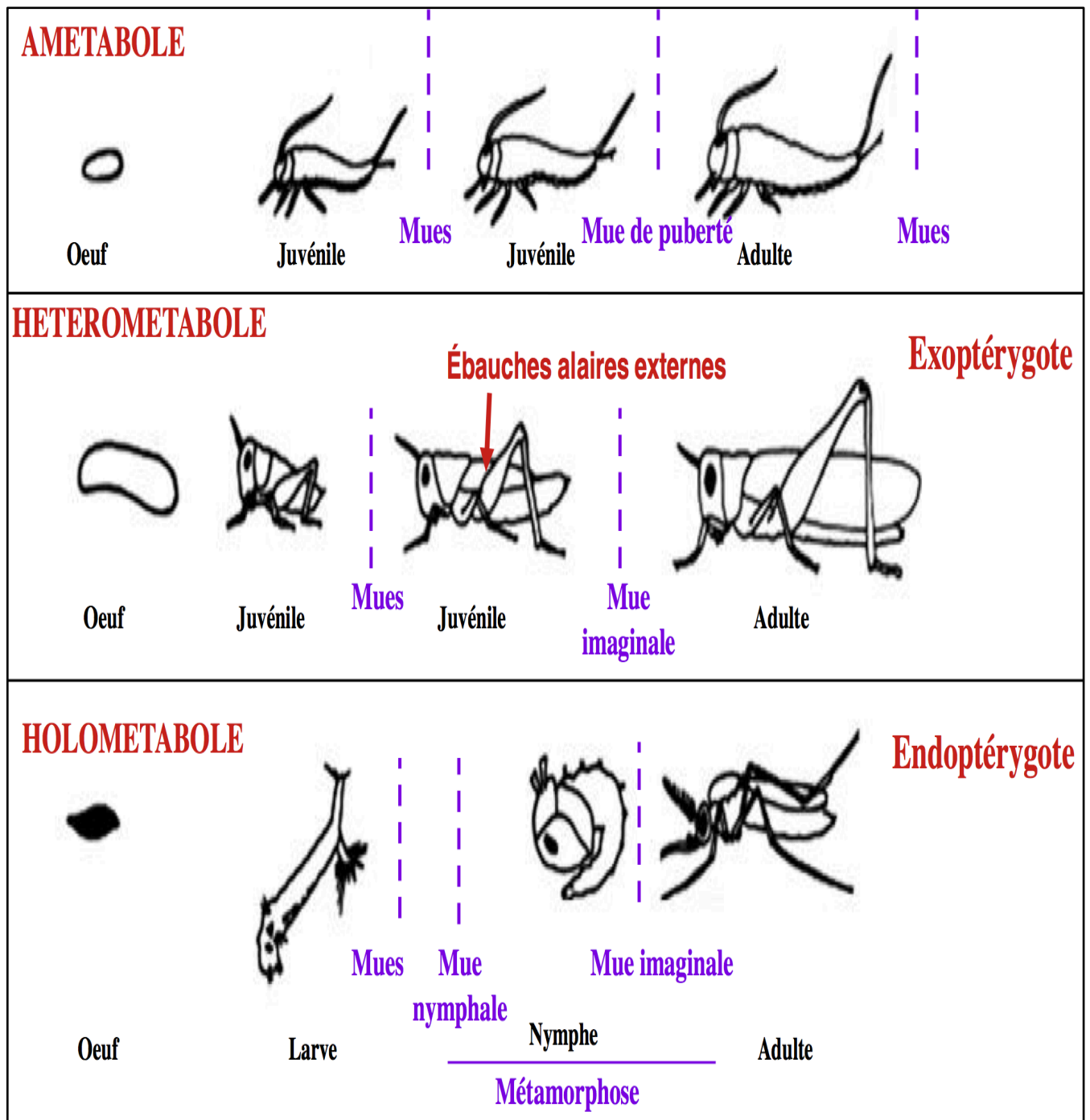


Figure 3. Types de développement post-embryonnaire chez les insectes (4).

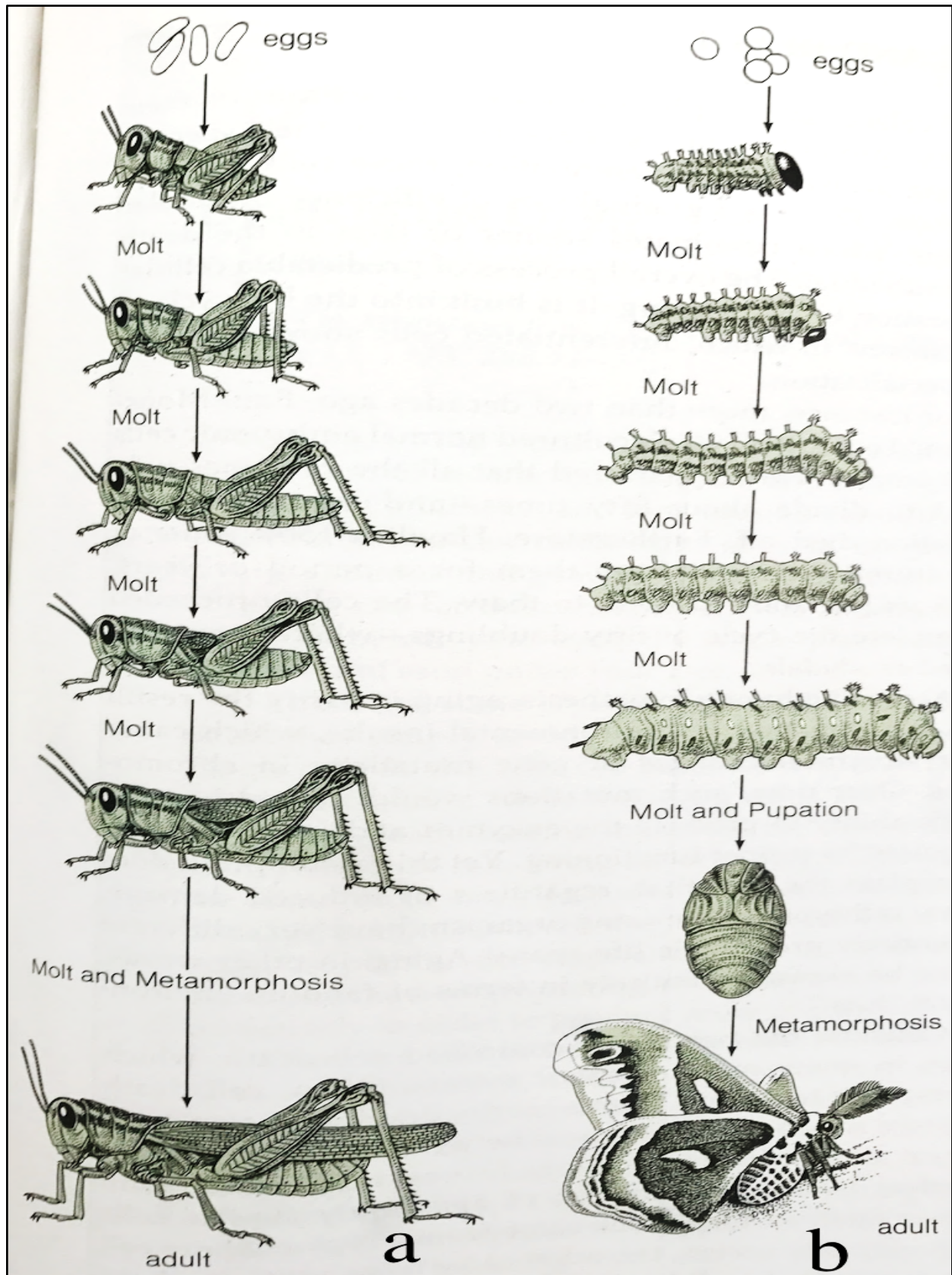


Figure 4. Développement post-embryonnaire: (a): paurométabole (Orthoptère), (b): holométabole (Lépidoptère) (Cecie *et al.*, 1984).

4. 4. 1. Types de larves des Holométaboles: (Figure 5).

. **Larve campodéiforme:** Larve marcheuse ou nageuse à corps allongé, téguments durs, ocelles fonctionnelles, pièces buccales de type broyeur (larve carnassière), antennes et trois paires de pattes thoraciques bien développées, abdomen terminé par deux pinces articulées et longues. Cette larve existe chez de nombreux coléoptères en particulier les Carabidae et les Staphylinidae (Dajoz, 2010).

. **Larve mélolonthoïde:** la larve du hanneton ou ver blanc (genre *Melolontha*) en sert d'exemple. Il s'agit d'une larve épaisse, à corps mou, blanchâtre, avec un gros abdomen arqué et un appareil buccal de type broyeur. Trois paires de pattes thoraciques plus ou moins développées selon les genres; pas d'ocelle ni d'antennes. Cette larve est rencontrée chez les coléoptères Scarabéidés.

. **Larve éruciforme** (de eruca: chenille) : C'est la larve type des chenilles des Lépidoptères, elles ont un corps allongé, cylindrique, mou, avec une tête bien marquée munie de pièces buccales broyeuses (fortes mandibules). Elles marchent grâce aux trois paires de pattes thoraciques articulées et aux fausses pattes abdominales dont le nombre est variable. Elles sont phytophages et capables de sécréter de la soie grâce à une filière sur le labium. Lépidoptères, Hyménoptères symphytes.

. **Larve vermiforme (apode):** Caractérisée par réduction plus ou moins importante de la capsule céphalique et l'absence de pattes et d'appendices locomoteurs. Le corps est peu ou pas différencié en trois parties. Les pièces buccales sont de type broyeur ou atrophiées. Elles se nourrissent de substances liquides ou de matières en décomposition (dont les excréments). Ex: Diptères (asticots des mouches).

. **Larve cyclopiforme:** doit son nom à une vague ressemblance avec un crustacée du genre *Cyclops*. Le corps est aplati, les mandibules très développées et le thorax pourvu d'une paire de processus ventraux charnus. Ce type caractérise la plus part des Hyménoptères Platygasteridae parasites.

4. 4. 2. Types de Nymphe des Holométaboles (Figure 6):

. **Nymphe libre (nue):** appendices libres non soudés mais plutôt appliqués contre le corps, elle est rencontrée chez beaucoup de coléoptères.

. **Nymphe obtectée:** Appendices collés au corps, chrysalide des lépidoptères.

. **Nymphe coarctée (pupe):** la nymphe est totalement enveloppée dans la dernière exuvie larvaire qui est en forme d'asticot, cette pupe caractérise surtout les Diptères Brachycères.

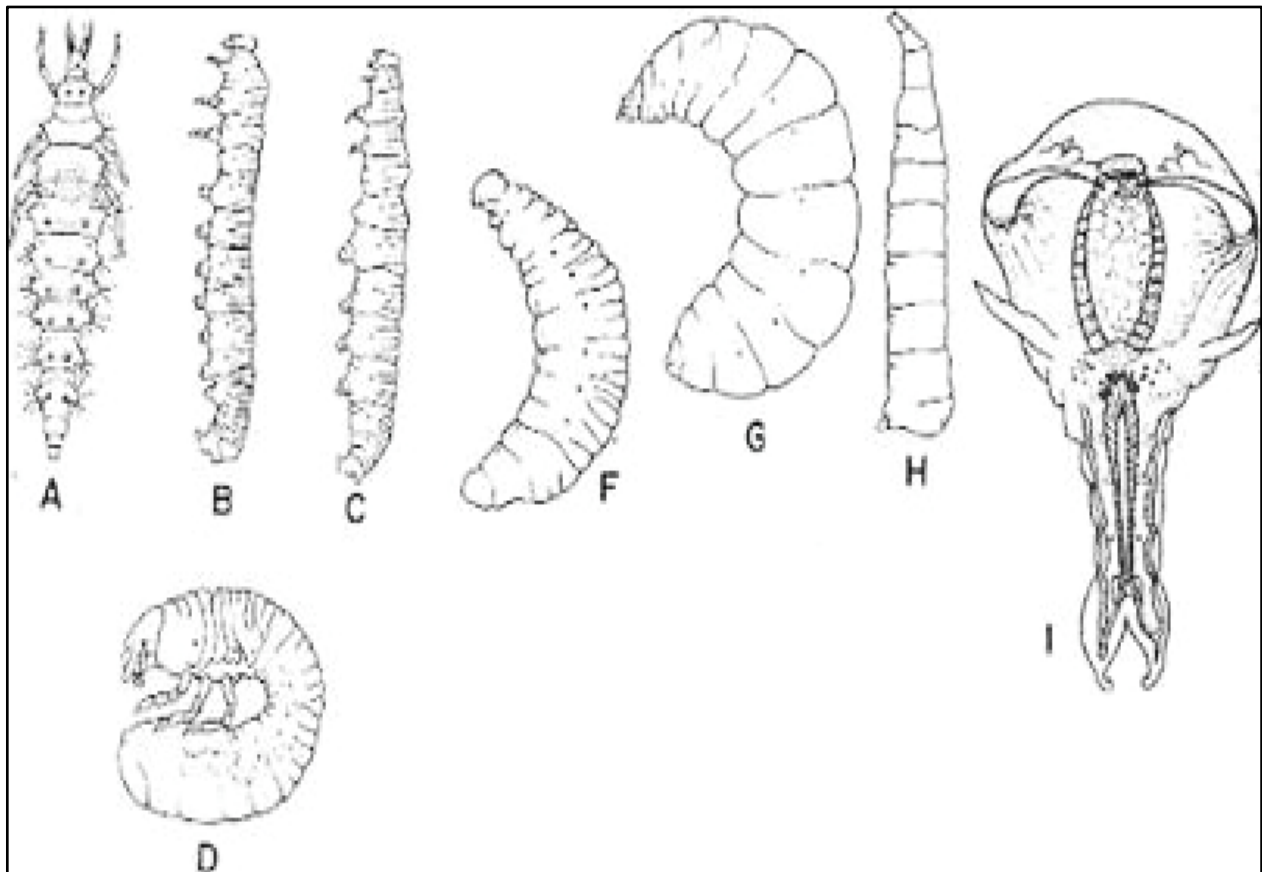


Figure 5. Types de larves des insectes Holométaboles: A: campodéiforme; B et C: éruciforme, D: mélolonthoïde; F, G, H: vermiforme, I: cyclopiforme (16).

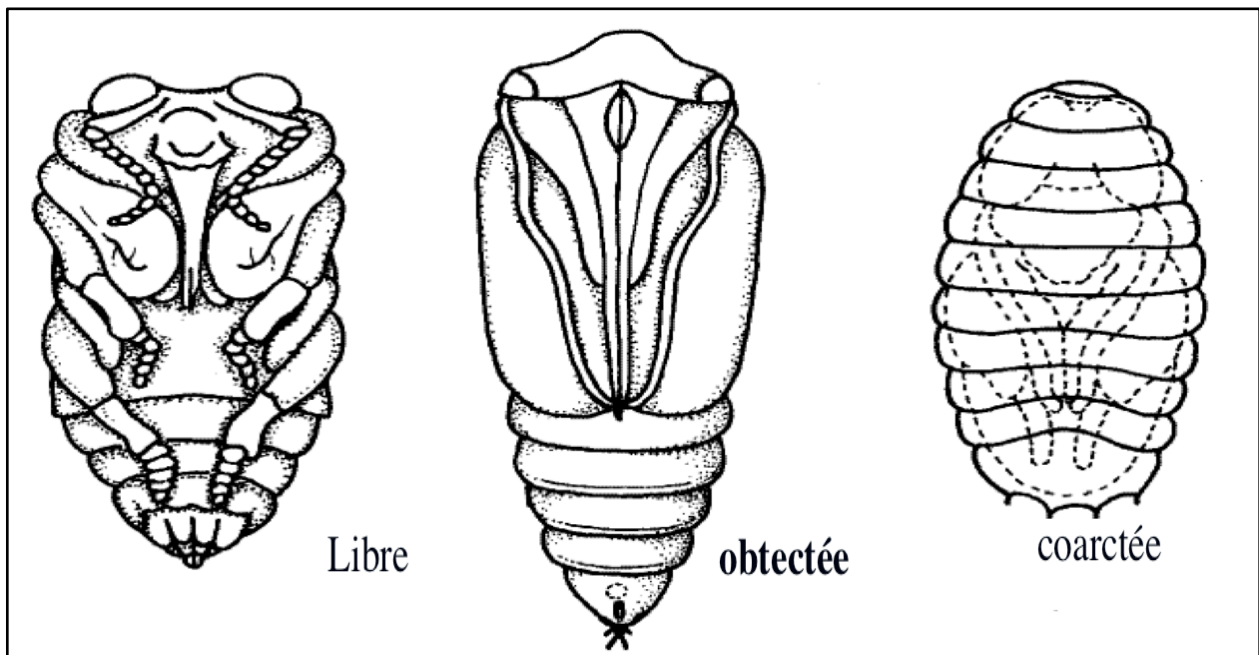


Figure 6. Les trois principaux types de Nympe chez les Holométaboles.

Taxonomie des insectes

1. Classification

Les Hexapodes forment une superclasse qui renferme les Arthropodes munis de trois paires de pattes et d'une paire d'antennes. Le concept d'Hexapodes est plus vaste que celui des insectes, lesquels, au sens strict, constituent le groupe frère des entognathes (Leraut, 2003). Dans la classification actuelle, les hexapodes sont constitués de quatre classes (Dajoz, 2010):

- Les trois premières correspondant aux anciens entognathes, c'est à dire trois ordres dont les pièces buccales sont situées à l'intérieur de la cavité buccale: les Protoures, les Collembolés et les Diploures.

- Tous les autres Hexapodes ont des pièces buccales visibles: ce sont les anciens ectognathes ou insectes vrais. Ils comprennent d'une part les Archaeognathes ou Monocondyliens dont les mandibules ont un seul condyle articulaire, et les Dicondyliens dont les mandibules ont deux condyles articulaires. Ces derniers sont à leur tour divisés en Zygentoma (anciens Thysanoures) et Ptérygotes qui réunissent tous les insectes ailés.

La classe des insectes comporte trente ordres actuels (Leraut, 2003), leur classification est la suivante (Kristensen, 1981; Minet et Bourgoïn, 1986; Bourgoïn, 1996; Wheeler *et al.*, 2001):

Hexapoda (Hexapodes):

Entognatha

1. Protura (Protoures)
2. Collembola (Collembolés)
3. Diplura (Diploures)

Insecta (Ectognatha)

4. Archaeognatha (Archéognathes)
5. Zygentoma (Zygentomes)
6. Ephemera (éphémères)
7. Odonata (odonates)
8. Plecoptera (Pléoptères)
9. Zoraptera (Zoraptères)
10. Embioptera
11. Phasmida (Phasmes)
12. Orthoptera (orthoptères)
13. Mantophasmatodea (mantophasmes)
14. Grylloblattodea (grylloblattidés)

15. Dermaptera (dermoptères)
16. Dictyoptera (dictyoptères)
17. Psocoptera (psoques)
18. Phthiraptera (poux)
19. Thysanoptera (thrips)
20. Hemiptera (hémiptères)
21. Strepsiptera (strepsiptères)
22. Coleoptera (coléoptères)
23. Raphidioptera (raphidioptères)
24. Megaloptera (mégaloptères)
25. Neuroptera (névroptères)
26. Hymenoptera (hyménoptères)
27. Trichoptera (trichoptères)
28. Lepidoptera (lépidoptères)
29. Mecoptera (mécoptères, puces)
30. Diptera (diptères)

Les ordres 1 à 5, amétaboles, sont normalement dépourvus d'ailes, les suivants en possèdent sauf par disparition secondaire. Les ordres 6 à 20 regroupent les insectes hétérométaboles et ceux allant de 21 à 30 sont des insectes holométaboles.

2. Systématique et nomenclature

Comme le reste des organismes vivants (animaux et végétaux), les insectes sont classés dans différentes unités systématiques (un système taxinomique composé de plusieurs niveaux hiérarchiques).

La classification exprime dans la mesure du possible les affinités des espèces et des groupes; en outre, elle permet de s'y retrouver dans la multitude des espèces. Enfin, elle a une valeur internationale. Les noms communs (=noms vernaculaires) diffèrent selon les langues et ne peuvent être employés dans la classification puisqu'ils sont parfois très nombreux pour une même espèce et varient à l'intérieur d'un seul pays.

C'est le naturaliste suédois Carl von Linné qui, au XVIII^e siècle, proposa une nomenclature caractérisée par l'emploi de noms tirés du latin ou du grec ancien.

Depuis, des règles internationales strictes ont été édictées pour en préciser l'emploi. Linné avait constaté que les êtres vivants peuvent être groupés selon leurs ressemblances et il créa plusieurs catégories dans sa classification du monde vivant, appelée *Systema Naturae*.

Par la suite, d'autres catégories furent ajoutées pour accroître la précision de la classification et rendre compte de la complexité de la nature.

L'**espèce** est l'unité fondamentale de la classification; elle réunit tous les organismes qui sont capables de se reproduire entre eux et qui forment donc une communauté isolée des autres de ce point de vue.

Les espèces étroitement apparentées et qui ont des caractères communs sont groupées dans un **genre**.

Les genres qui présentent des particularités communes sont réunis dans une même **famille** et une ou plusieurs familles font partie d'un même **ordre**. Un ou plusieurs ordres font partie d'une **classe**, ici celle des insectes, et une ou plusieurs classes forment un **embranchement**.

. Terminaisons en systématique

En fonction de la manière dont est écrit le nom d'un taxon, on peut savoir à quel niveau taxonomique il appartient, à noter qu'il n'y a jamais d'accents ni d'accords et que cette nomenclature est valable dans le monde entier.

Ainsi et à titre d'exemple, la position systématique de l'hyménoptère *Vespa crabro* est la suivante:

Règne: animalia

Phylum (embranchement): Arthropoda

Super-classe: Hexapoda

Classe: insecta

Sous-classe: Pterygota

Infra-classe: Neoptera

Super-ordre: Mecopteroidea

Ordre: majuscule, terminaison en « **a** », exemple : Hymenoptera.

Sous-ordre: Apocrita

Super-famille: majuscule, terminaison en « **oidea** »: Vespoidea.

Famille: majuscule, terminaison en « **idae** » (on prononce "idé"): Vespidae.

Sous-famille: majuscule, terminaison en « **inae** » (on prononce "iné"): Vespinae.

Tribu: majuscule, terminaison en « **ini** »: Vespini.

Genre: italique, majuscule, les noms des genres ont une origine variables, ils dérivent du latin ou du grec, ou bien ils sont dédiés à une personne, ou sont simplement formés par un assemblage de lettres sans signification précise mais une apparence latinisée: *Vespa*.

Sous-genre: formé comme le nom du genre et inséré, facultativement, entre parenthèses entre le nom du genre et celui de l'espèce.

Espèce: italique, minuscule: *crabro*.

Sous-espèce: Après l'espèce, suit les mêmes règles que les noms d'espèces.

. **Nom d'espèce inconnu:** Lorsqu'on connaît le genre mais pas le nom de l'espèce, on remplace celui ci par "*sp.*" qui signifie espèce: *Vespa sp.*

. **Abréviation du nom de genre:** Le nom du genre peut être remplacé par son initiale une fois qu'il a été cité une fois en entier: si *Vespa crabro* a été citée une fois en entier on peut parler de *V. crabro* .

. **Descripteur et date de description:** Le descripteur est la personne qui a décrit pour la première fois l'espèce. Lorsque on veut être rigoureux, on indique son nom et l'année de description après les noms de genre et d'espèce. Généralement pas de prénom en entier sauf pour pour Linné (L.) et Fabricius (F.) Le nom de descripteur se rapporte au terme qui le précède immédiatement quelque soit son niveau taxonomique. Lorsqu'une espèce a été décrite plusieurs fois, c'est le nom d'espèce et le descripteur les plus anciens qu'il faut utiliser, c'est la règle d'antériorité (sauf cas très particuliers).

Exemples :

Vespa crabro Linné 1758

Anthophora plumipes (Pallas 1772)

Ecologie et adaptation au milieu aquatique

Les insectes sont essentiellement des animaux terrestres à respiration aérienne trachéenne. Bien que certains sont devenus secondairement aquatiques (3 %), ils ont tout de même conservé leur système trachéen qui est typiquement adapté à la respiration aérienne. Les insectes aquatiques ont dû résoudre deux problèmes: celui de la respiration et celui de la nage.

1. Adaptation aquatique

1. 1. Respiration aquatique

Le tégument externe représente la seule surface d'échange gazeux chez de nombreux invertébrés aquatiques y compris les insectes, de nombreuses espèces vivent ou passent une partie de leur cycle biologique (stades juvéniles) dans le milieu dulcicole. Les adultes pratiquent exclusivement une respiration aériennes (oxygène gazeux) et quelques espèces présentent cependant une adaptation morphologique leurs permettant de rester indéfiniment sous l'eau. Les larves peuvent utiliser soit de l'oxygène gazeux soit celui dissous dans l'eau, dans ce cas le système trachéen peut être connecté à des branchies abdominales ou rectales, il peut aussi être clos, la respiration devenant alors essentiellement cutanée. Chez toutes les espèces, le système trachéen est plus ou moins modifié et la respiration cutanée joue souvent un rôle important (Gilles *et al.*, 2006).

Les insectes aquatiques peuvent se procurer l'oxygène nécessaire de plusieurs façons (Dajoz, 2010):

a. Prélèvement à la surface de l'eau: L'insecte se laisse affleurer l'extrémité de son abdomen où s'ouvre un stigmate (Coléoptère Dytiscidae, Hémiptère Notonectidae (Figure 1) et Corixidae) ou à l'aide de prolongements situés à l'extrémité abdominale tel que le siphon des Diptères Culicidae, Hémiptère Nepidae et Syrphidae Eristalinae (figures 2 et 3) dont la larve obtient l'air atmosphérique par affleurement du siphon, qui est en relation avec les trachées, à la surface. Le Coléoptère Hydrophilidae vient à la surface de l'eau et laisse affleurer sa tête dans l'air et recharge ses réserves à l'aide de ses antennes.

b. Prélèvement à partir de végétaux aquatiques: C'est le cas des larves de coléoptères Chrysomelidae du genre *Donacia* qui peuvent rester constamment immergées en perçant les végétaux à l'aide de deux crochets situés sur le huitième segment abdominal, ce qui met les stigmates en communication avec les lacunes aérifères des plantes. Les larves de diptères Culicidae du genre *Monsonia* sont fixées par leurs siphons aux racines des plantes aquatiques auxquelles elles prennent de l'air.



Figure 1. Adulte d'un Hémiptère Notonectidae (17).



Figure 2. Siphon respiratoire d'une larve d'un Syrphidae Eristalinae (17).

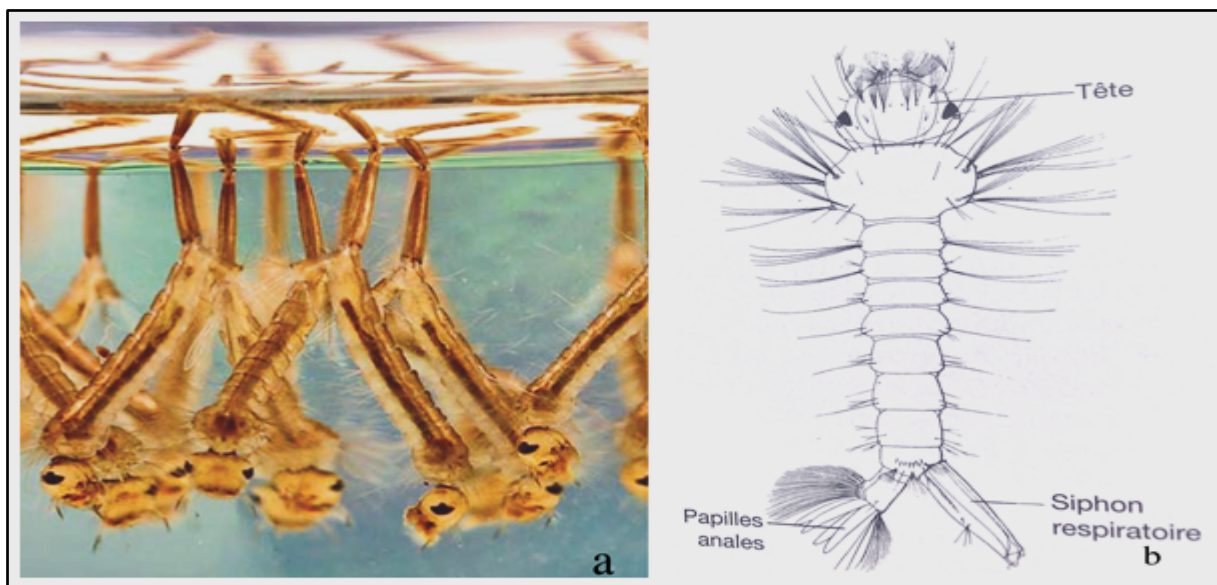


Figure 3. Larve de Culicidae avec son siphon: (a) (17), (b) (Dajoz, 2010).

c. Transport de réserve d'air: Elle est retenue par des zones hydrophobes du tégument. Chez l'Hémiptère *Aphelocheirus*, il existe une pilosité hydrofuge, fine et serrée (2 millions de soies par mm²) qui retiennent énergiquement l'air et qui forment sur les sternites un plastron gazeux permettant à l'insecte de conserver l'air qu'il a recueilli en surface. Chez des Coléoptères Dryopoidae, des plastrons ne servent pas de réserves d'air mais fonctionnent plutôt comme de véritables branchies.

d. Respiration tégumentaire: Ceci s'observe chez les insectes dont la totalité des stigmates est fermée. La respiration cutanée fait ainsi intervenir un système trachéen clos et rempli de liquide. Les échanges respiratoires s'effectuent par diffusion dans les liquides internes et à travers les téguments extérieurs. La circulation sanguine devient donc ici un élément important du transport des gaz dissous. Chez la plupart des espèces, le sang reste cependant dépourvu de pigments transporteurs d'oxygène sauf chez les larves de Diptères *chironomus*, ce qui leur permet de survivre dans des milieux pollués très pauvres en oxygène (Gilles, 2006; Dajoz, 2010).

e. Respiration branchiale: Les insectes peuvent prélever l'oxygène dissous dans l'eau grâce à des branchies qui sont divisées en deux types (Dajoz, 2010) (Figure 4, 5, 6, 7):

- **Branchies sanguines:** Ce sont de simples expansions tégumentaires à paroi mince, remplies de sang et dépourvues de tout élément trachéen. C'est à leur niveau que se font les échanges O₂/CO₂. Leur localisation varie suivant les espèces: papilles ventrales des Diptères Simuliidae et Chironomidae, anales des larves de Culicidae.

- **Branchies trachéennes ou trachéobranhies:** Ce sont des expansions du corps pourvues d'un important réseau de ramifications trachéennes de dispositions diverses: abdominale, anale ou rectale (Gilles, 2006; Dajoz, 2010); elles peuvent être de forme lamellaire, pectinée, digitées ou filiforme. Elles sont généralement insérées sur les côtés de l'abdomen comme chez les larves d'Ephéméroptères, de Mégaloptères de Trichoptères, de Coléoptères, de Diptères, etc mais aussi au niveau de la tête comme les filaments cuticulaires creux chez les nymphes des Diptères Simuliidae. Chez les Odonates, le rectum est transformé en corbeille branchiale et porte de profonds replis riches en trachées, ces branchies rectales ont acquis secondairement une fonction locomotrice. Des branchies stigmatiques, qui sont formées par des expansions de stigmates ou évaginations de la paroi du corps proches des stigmates, peuvent également exister, elles supportent un plastron d'air qui est retenu non par des poils hydrofuges mais par une structure lamellaire spécialisée de la branchie; ce type de branchies est rencontré chez les Diptères Simuliidae et Blephariceridae, quelques Tipulidae et deux genres

d'Empiidae, et enfin les Coléoptères Psephenidae (Dajoz, 2010).

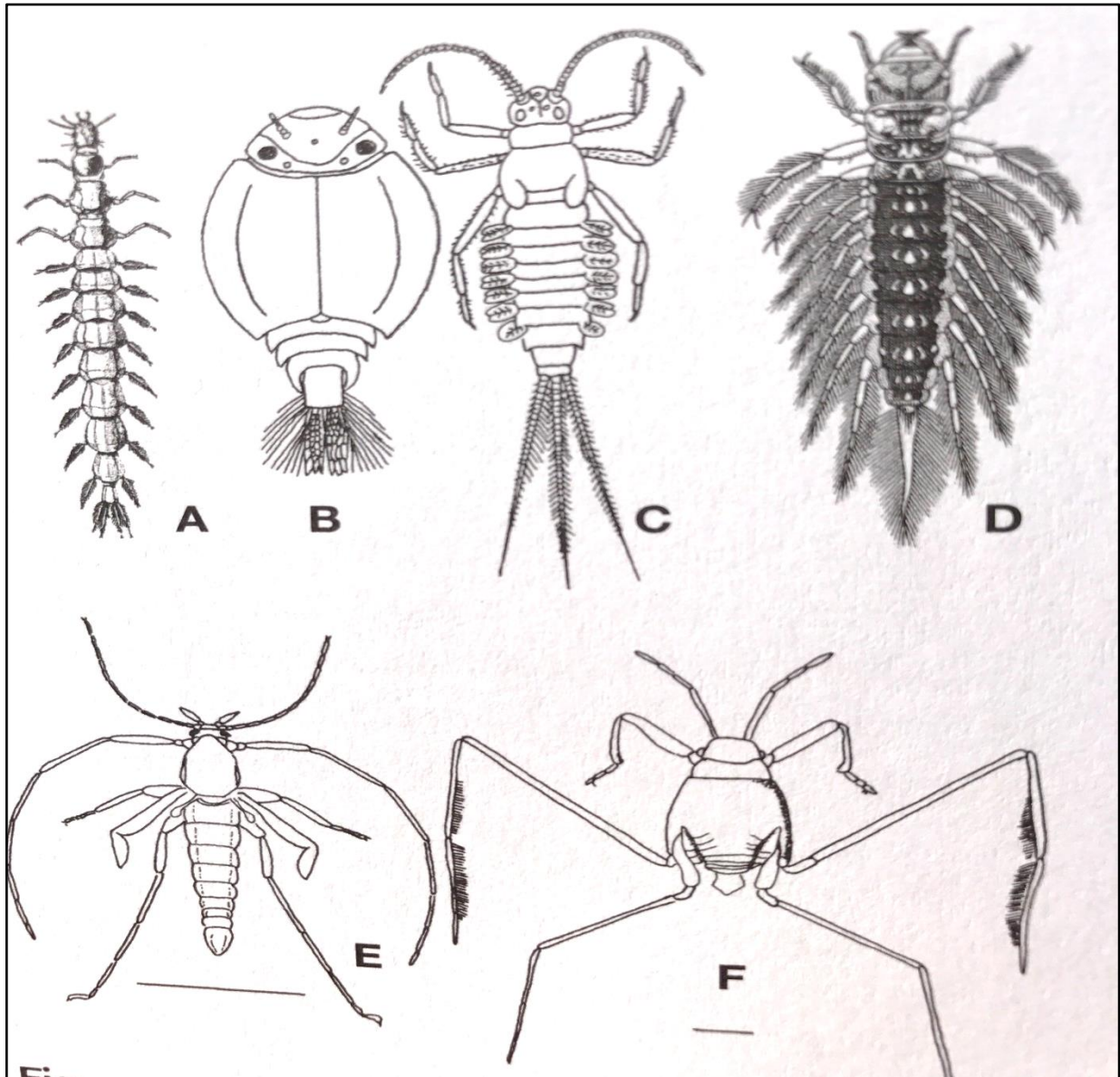


Figure 4. Quelques exemples d'insectes aquatiques: (A): larve d'un coléoptère Gyrinidae avec des trachéobranchies sur tous les segments abdominaux; Larve d'un éphéméroptère du genre *Prosopistoma* (B) et *Chloeon* (C); D: larve d'un Mégaloptère du genre *Sialis*; E: imago mâle du Chironomidae marin du genre *cottoni*; F: imago mâle du Gerridae marin *micans* (Dajoz, 2010).

1. 2. Locomotion: Les insectes aquatiques peuvent nager selon des modalités variées (Dajoz, 2010):

- Les Gerridae se déplacent en patinant à la surface de l'eau (Figure 8). Ils sont soutenus par la tension superficielle qui s'exerce sur leurs tarse allongés. Grâce à leur petite taille, cette tension superficielle est supérieure à leur poids, ils se déplacent rapidement à la surface de l'eau en utilisant leurs pattes postérieures élargies comme des rames (Figure 18, chapitre 1).

- La plupart des insectes aquatiques sont des, à l'état imaginal, des nageurs de pleine eau tels que les Dytiscidae, les Hydrophilidae, les Corixidae et les Notonectidae qui utilisent leurs pattes postérieurement élargies et ciliées comme des rames.

2. Habitats des insectes aquatiques:

Largement diversifiées et occupant une large gamme d'habitat, les insectes constituent d'excellents témoins de la qualité des habitats où ils se rencontrent, d'où leur utilisation de plus en plus fréquente dans différents types d'indices écologiques (Tachet, 2003). Les spécialistes des eaux divisent habituellement en deux grandes catégories: les eaux courantes (lotiques) et les eaux stagnantes (lenticues).

2.1. Eaux lotiques: Elles se divisent en trois régions (Dajoz, 2010):

a. Source ou crénon: Dont l'eau est à une température relativement constante et est généralement non polluée, le courant y est lent. Parmi les insectes caractéristiques des sources se trouvent des larves de Trichoptères et des Coléoptères du genre *Elmis* et *Riolus*. Il existe dans les régions volcaniques des sources chaudes qui sont peuplées par des insectes tels que: le Diptère Ephyridae *Scatella thermarum* (supporte jusqu'à 47,7 °C), une espèce de Chironomidae du genre *Chironomus* (supporte jusqu'à 49°C), les Coléoptères Hydroscaphidae *Hydroscapha natans* et hydrophilidae *Helochaeres normatus* (vivent dans des eaux à 46 °C).

b. Cours d'eau supérieur ou rhithron: Caractérisé par une pente forte, un cours rapide, une eau bien oxygénée. Les insectes sont surtout des Diptères Simuliidae et Blepharoceridae, des Éphéméroptères, des Plécoptères, Trichoptères et quelques Coléoptères. La présence de dispositifs d'accrochage au support est fréquente dans cette zone, les insectes peuvent également se tenir blottis sur le fond où le courant est moins fort.

c. Cours d'eau inférieur ou potamon: C'est celui des rivières de plaine, il est caractérisé par le ralentissement du courant et des variations plus importantes de température. Les espèces sont donc moins sténothermes que celles du rhithron et les dispositifs de fixation sont rares ; ils sont représentés par les Éphéméroptères, Trichoptères et Coléoptères. La pollution modifie fortement les peuplements aquatiques dont elle réduit la richesse et modifie leur composition. Certains insectes sensibles comme beaucoup de Plécoptères et Éphéméroptères disparaissent alors que les Chironomidae résistent bien en dominant les eaux polluées.

2.2. Eaux lenticues ou lénitique: Les espèces des eaux stagnantes, étangs et lacs, peuvent être classées en fonction de leur localisation dans l'eau. Le **pleiston** comprend l'ensemble des espèces qui se maintiennent à la surface comme les Hydrometridae et les Gyrinidae. Le **necton** comprend les nageurs de pleine eau tels que les Notonectidae et les

Dytiscidae; alors que beaucoup d'espèces d'Ephéméroptères, Trichoptères, Odonates et Diptères vivent sur le fond et forment le **benthos**.

Il est également important de noter que certains insectes recherchent des milieux salés, soit au bord de la mer, soit dans les affleurement salés de l'intérieur des terres ; tandis que les Coléoptères Carabidae sont les plus caractéristiques des lagunes sursalées, les insectes marins de surface sont peu nombreux et réduits aux espèces d'Hémiptères Gerridae du genre *Halobates* que l'on rencontre parfois loin au large au même titre que les Chironomidae du genre *Pontomyia*. Au voisinage du littoral, les insectes les plus abondants sont des Diptères, puis des Coléoptères et des Hyménoptères, des Chironomidae du genre *Clunio* vivent parmi les algues rejetées sur la cote par les vagues alors que des espèces de Carabidae sont remarquablement présentes dans la zone de balancement des marées.

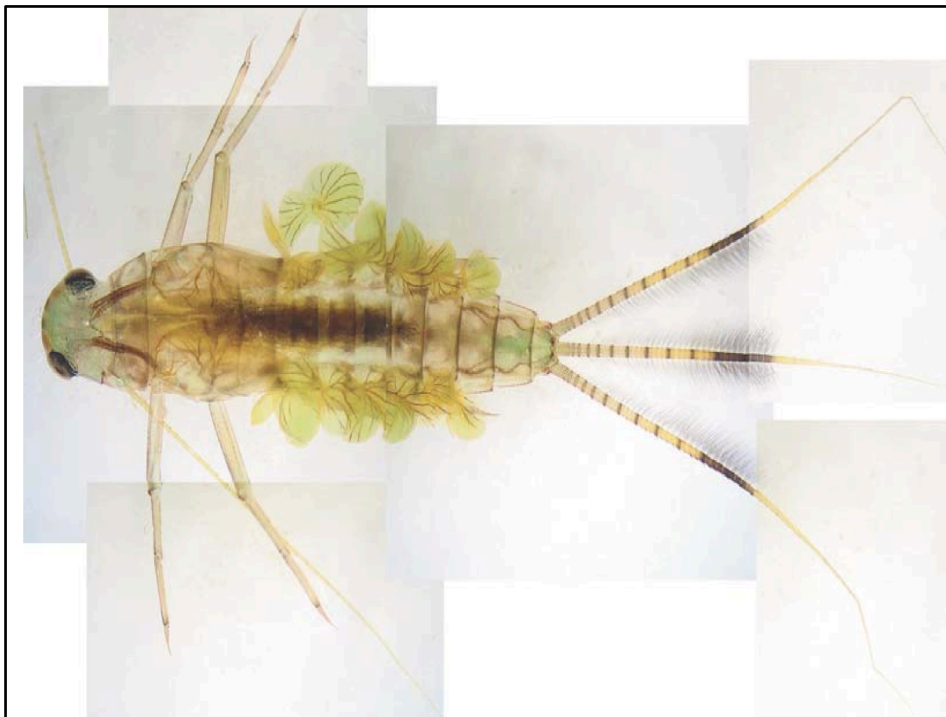


Figure 5. Larve d'un Ephéméroptère (17).

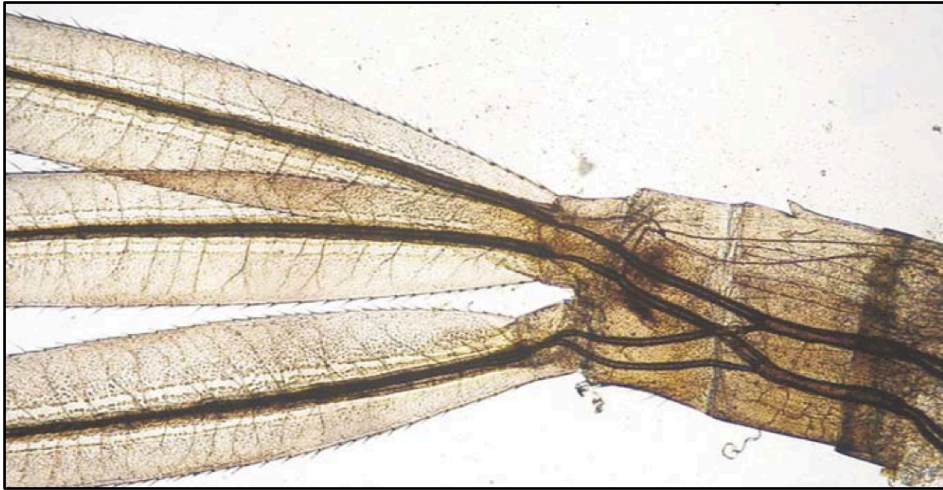


Figure 6: Trachéobranches d'un Odonate Zygoptère (17)



Figure 7. Nympe d'un Diptère Simuliidae (Aouissi-Cherairia, 2015).



Figure 8. Un Gerridae patinant à la surface de l'eau (8).

Etude de différents ordres d'Insectes

Vu la diversité extraordinaire du monde des insectes et le nombre élevé des ordres (31) et pour des fins purement pédagogiques, nous nous limiterons dans ce chapitre à l'étude seule de quelques groupes sélectionnés, une étude plus exhaustive et détaillée fera l'objet des travaux pratiques.

Toutes les figures incluses dans ce chapitre ont été empruntées à l'ouvrage de Leraut (2003) sauf exception, alors que la description des différents ordres est inspirée des travaux du même auteur et de Dajoz (2010).

La classe des hexapodes inclut la sous-classe des entognathes (Entognatha) et celle des insectes au sens stricte (Insecta).

1. Sous-classe des Entognatha

Son statut a été établi récemment par le démembrement des « thysanoures ». Tous les entognathes sont des insectes archaïques, amétaboles et aptères, terrestres, et dont les collemboles constituent l'ordre le plus nombreux (Leraut, 2003).

. **Protura** (Figure 1): Animaux minuscules, aveugles et dépigmentés, sans antennes. Les pattes de la première paire sont dirigées vers l'avant et jouent le rôle d'antennes. L'abdomen cylindrique dépourvu de cerques comporte douze segments chez l'adulte, neuf chez l'immatrice chez lequel les derniers segments sont acquis au cours de trois mues, ce type de développement est dit anamorphe. Les Protoures sont essentiellement détritivores. Environ 500 espèces ont été recensées dans le monde (Dajoz, 2010).

. **Collembola** (Figure 2): Avec près de 7000 espèces décrites (Dajoz, 2010), cet ordre représente le groupe le plus important des entognathes et constitue l'ordre d'hexapodes le plus ancien, il est divisé en trois sous-ordres: les Arthropleona, les Neelipleona et les Symphypleona. Les collemboles se rencontrent le plus souvent dans la litière ainsi que la végétation en décomposition et possèdent un régime alimentaire varié: détritus, moisissures et autres animalcules. Ils peuvent coloniser des domaines divers même ceux de très hautes altitudes (jusqu'à 6300 m en Himalaya) (Leraut, 2003; Dajoz, 2010). Ces insectes éclosent avec le même nombre de segment que l'imago, le corps au tégument mou est parfois recouvert d'écailles, il comporte la tête, le thorax et l'abdomen avec six segments parfois soudés; le premier segment abdominal porte le tube ventral aux fonctions variées, le troisième présente le tenaculum, dont la fonction est de maintenir la furca (organe de saut inséré ventralement) au repos. Les orifices génitaux des deux sexes sont situés à la face ventrale du cinquième segment.

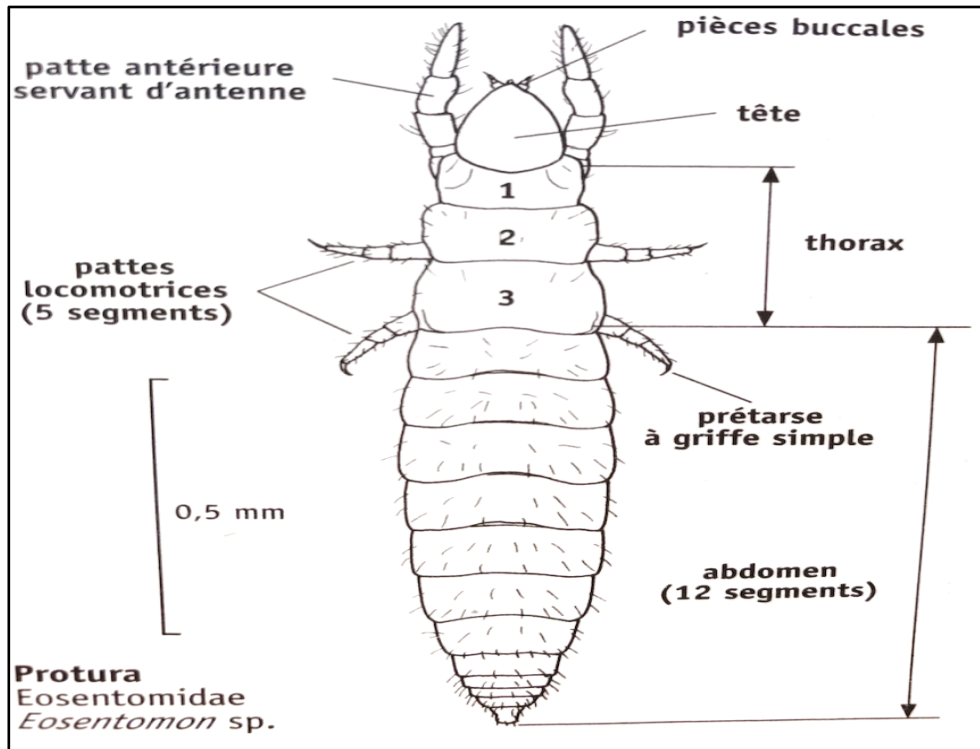


Figure 1. Protura Eosentomidae, *Eosentomon* sp.

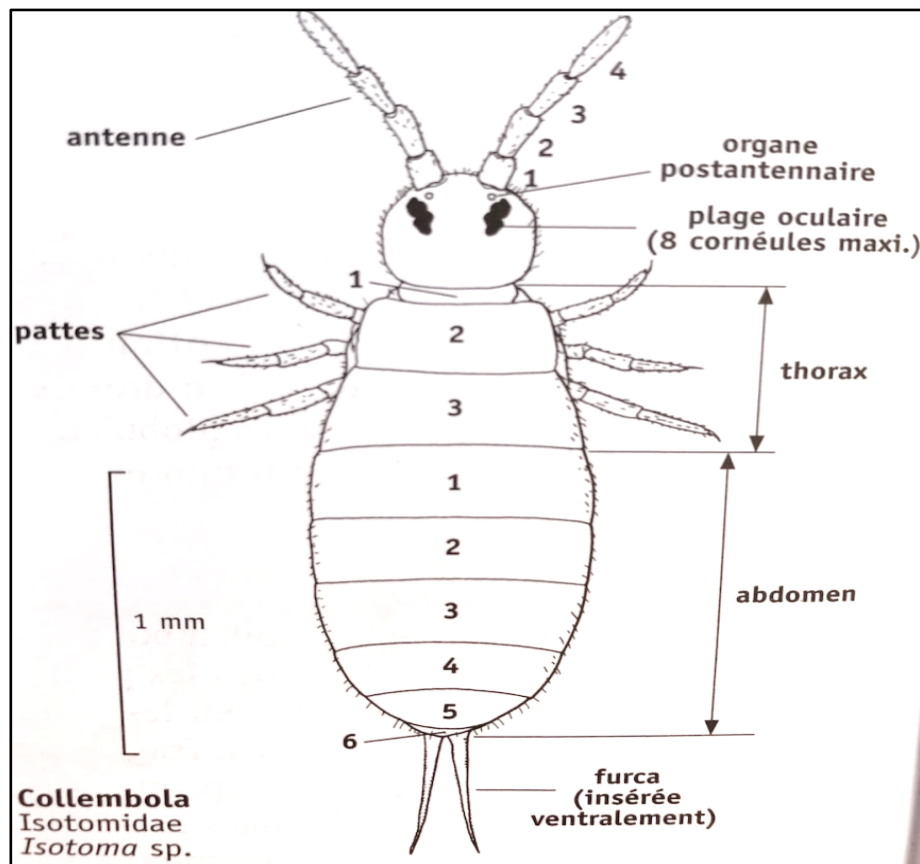


Figure 2. Collembola Isotomidae, *Isotoma* sp.

. **Diplura** (Figure 3): Insectes petits, grêles, fragiles et dépigmentés vivant dans la litière, les pierres et autres lieux humides (grottes) où ils rognent les débris organiques et certains se nourrissent de petites proies comme les collemboles. Environ 600 espèces sont dénombrées dans le monde, des contrées tempérées aux régions tropicales (Leraut, 2003). Ils sont dépourvus de tubes de Malpighi et l'excrétion est assurée par des reins labiaux. Ils se distinguent des collemboles par l'existence de onze segments abdominaux, par des antennes multiarticulées bien développées et par une paire de cerques de forme variable. On distingue six familles dont les deux principales sont les Japygidae et les Campodeidae.

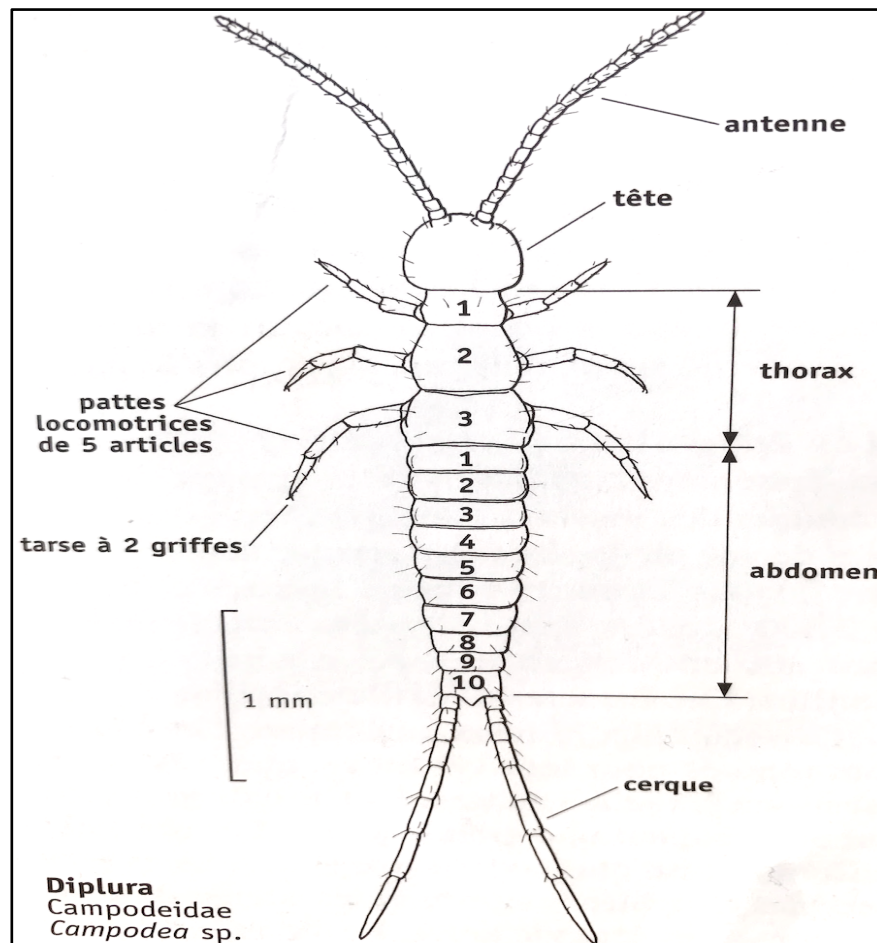


Figure 3. Diplura Campodeidae, *Campodea* sp.

2. Sous-classe des Insecta

En plus des ordres normalement ailés, elle contient deux ordres dépourvus d'ailes les Archaeognatha et les Zygentoma anciens ordres d'insectes qui formaient autrefois l'ordre des

Thysanoures, concept aujourd'hui abandonné, puisque inconsistent car il est fondé sur un amalgame d'insectes non étroitement apparentés.

. **Archaeognatha** (Figure 4): Comprennent 300 espèces (Dajoz, 2010) et affectionnant le sol dans les forêts mais aussi les zones littorales, les parois rocheuses, au dessus du niveau des hautes mers. Ce sont des omnivores dont la tête porte de grands yeux composés, de petits ocelles, de longues antennes et palpes. L'abdomen est écailleux long et cylindrique et se termine par trois filets (2 cerques et un épiprocte). La pariade sexuelle est assez complexe et sans accouplement: quant une femelle est réceptive, elle redresse l'extrémité de son abdomen, le mâle vient à ses cotés et abaisse l'apex du sien en secrétant un film de soie d'ou il fait couler des gouttelettes de sperme qui entrent en contact avec l'abdomen de la femelle qui le place dans son ovipositoire.

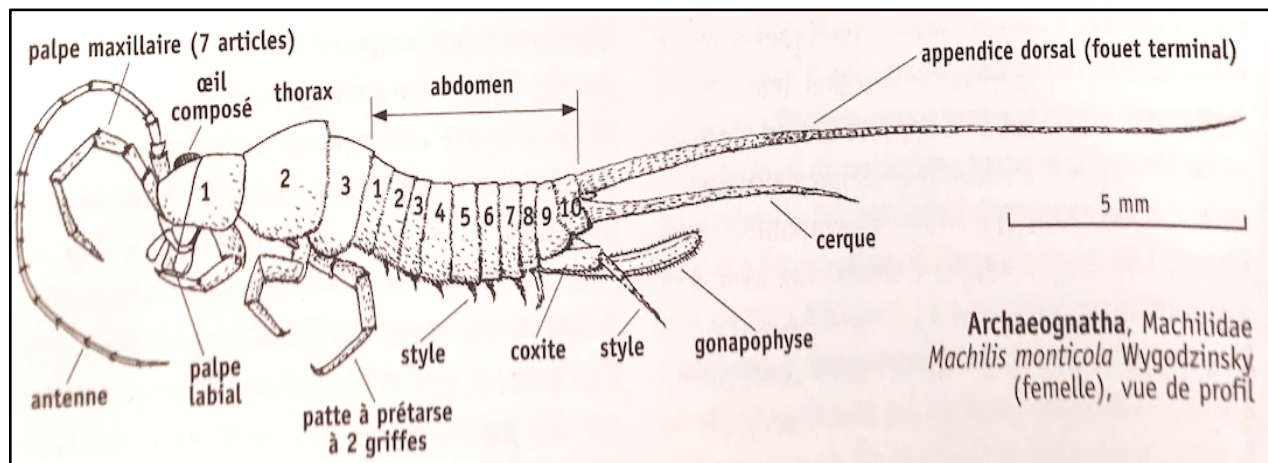


Figure 4. Archaeognatha Machilidae, *Machilis monticola* femelle.

. **Zygentoma**: Ayant une longévité longue pour un insecte (jusqu'à 4 ans), ils sont rencontrés sous les pierres, les écorces ainsi que dans les maisons et possèdent un régime alimentaire varié. Le corps est fuselé et assez aplati, la tête est avec des yeux très réduits, de longs palpes et des antennes souvent aussi longues que le corps, l'abdomen porte deux styles et se prolonge par un filament terminal médian (épiprocte) et deux cerques très allongés et subégaux. La femelle pond une série d'œufs après chaque mue. Leur croissance est lente et la maturité sexuelle, tout comme les collemboles, n'est atteinte qu'au bout de 2 à 3 mois, les mues continuent ensuite de sorte qu'un individu peut effectuer jusqu'à 70 mues.

. **Ephemerida** (Figure 5): Les éphémères constituent le groupe le plus archaïque des insectes des insectes ptérygotes, et, du point de vue phylogénétique, représentent le groupe frère de tous les autres ordres ailés. Près de 2500 espèces sont recensées dans le monde repartis

en sept familles (Leraut, 2003). Ils peuplent tous les types de plans d'eau mais beaucoup craignent la pollution et certaines espèces régressent localement. Ces insectes sont de taille moyenne à petite et sont associés aux milieux aquatiques. Les adultes sont réputés pour leur vie brève, mais les larves peuvent subsister jusqu'à 3 années. Le cycle présente une particularité unique chez les insectes: ils existe deux stades ailés appelés subimago et imago dont le passage se fait par une mue supplémentaire ; le premier diffèrent du second non seulement par la couleur foncée et les ailes translucides et généralement bordées de franges de soies mais aussi par l'inaptitude à la reproduction. La tête des adultes porte de gros yeux avec des antennes filiformes courtes et des pièces buccales atrophiées ce qui les empêchent de s'alimenter. Le thorax est doté le plus souvent de deux paires d'ailes, les antérieures étant beaucoup plus grandes. Les pattes antérieures sont très longues et servent lors de l'accouplement. L'abdomen long et grêle se termine par deux à trois longs cerques filamenteuses. Les larves aquatiques peuvent être phytophages, detritiphages ou carnivores, elle peuvent être nue ou bien abritées dans un fourreau qu'elles construisent à l'aide de matériaux divers: soie, débris végétaux, petits graviers. Les larves d'Ephémères se distinguent de celle des Plécoptères qui fréquentent le plus souvent les mêmes biotopes par leurs trois cerques au lieu de deux chez ces dernières, les adultes s'en distinguent à leurs très courtes antennes et aux ailes postérieures réduites à nulles.

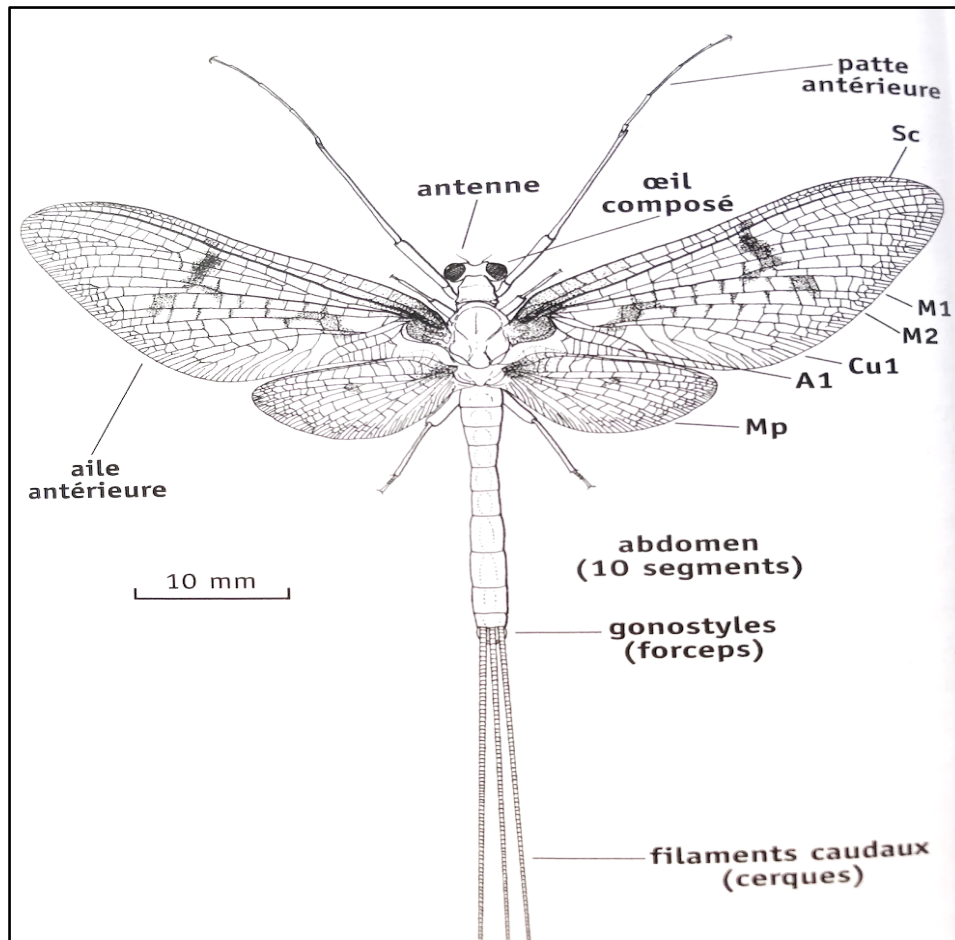


Figure 5. Ephemera Ephemerae, *Ephemera vulgata* mâle.

. **Odonata** (Figure 6): On dénombre plus de 5000 espèces (Leraut, 2003), deux sous-ordres les anisoptères (libellules) et les zygoptères (demoiselles) ; ils sont dotés de très grands yeux, de petites antennes en cils et de pièces buccales de type broyeur avec de fortes mandibules. Le thorax porte des pattes bien développées et deux paires d'ailes au réseau de nervures très serrées. Au repos, celles-ci sont jointives au-dessus du corps (zygoptères) ou étalées perpendiculairement (anisoptères). L'abdomen long, et souvent grêle, est composé de dix segments. Il se termine par une pince anale qui, chez le mâle, sert à saisir la femelle par la tête (anisoptères) ou le prothorax (zygoptères) lors de l'accouplement. Tout comme les adultes, les larves aquatiques sont carnivores et respirent au moyen de branchies trachéennes (chapitre 5, Figure 6); leur labium est très allongé et articulé se terminant par des palpes modifiés en pinces mobiles, l'ensemble macque) est replié sous la tête au repos (chapitre 2, Figure 15), la mue imaginale a lieu hors de l'eau sur un support proche.

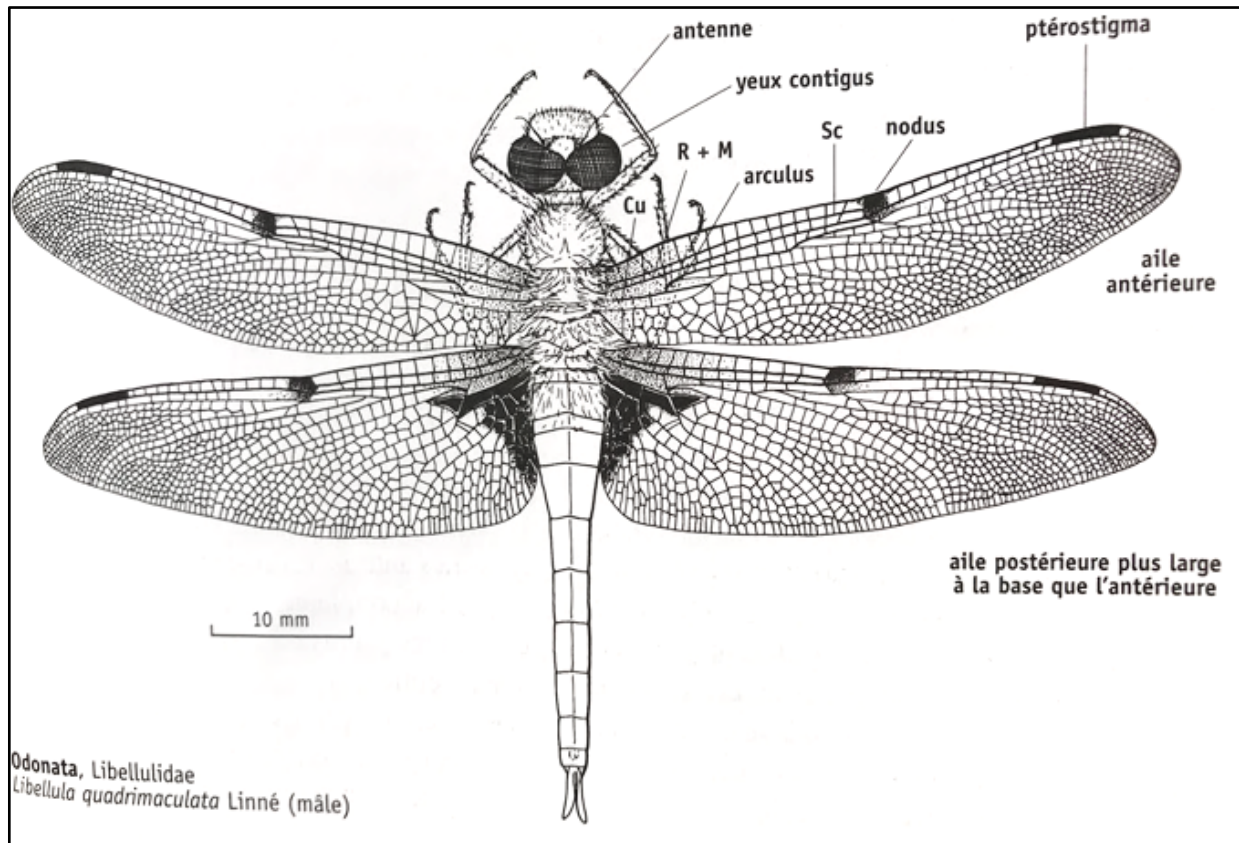


Figure 6. Odonata Libellulidae, *Libellula quadrimaculata* mâle.

.Plecoptera (Figure 7): 3000 espèces de perles existent dans le monde (Leraut, 2003); ce sont des insectes liés aux cours d'eau dont les adultes s'écartent très peu. On les rencontre sur les gravés et les rochers des torrents. Bien qu'ils soient dotés de longues et larges ailes particulièrement les postérieures, leur vol est faible. Les espèces de haute montagne sont des formes brachyptères. Les larves aquatiques et végétariennes pour la plupart, semblables aux adultes mais dépourvues d'ailes, respirent par simple diffusion de l'oxygène au travers de la surface du corps, et de ce fait, recherchent les courants d'eau vive bien oxygénés (frais et non pollués); le corps aplati leur permet de résister aux courants violents en s'accrochant aux pierres. La mue imaginale a lieu à proximité de l'eau. L'abondance des plécoptères et d'éphémères indique une bonne qualité de l'eau.

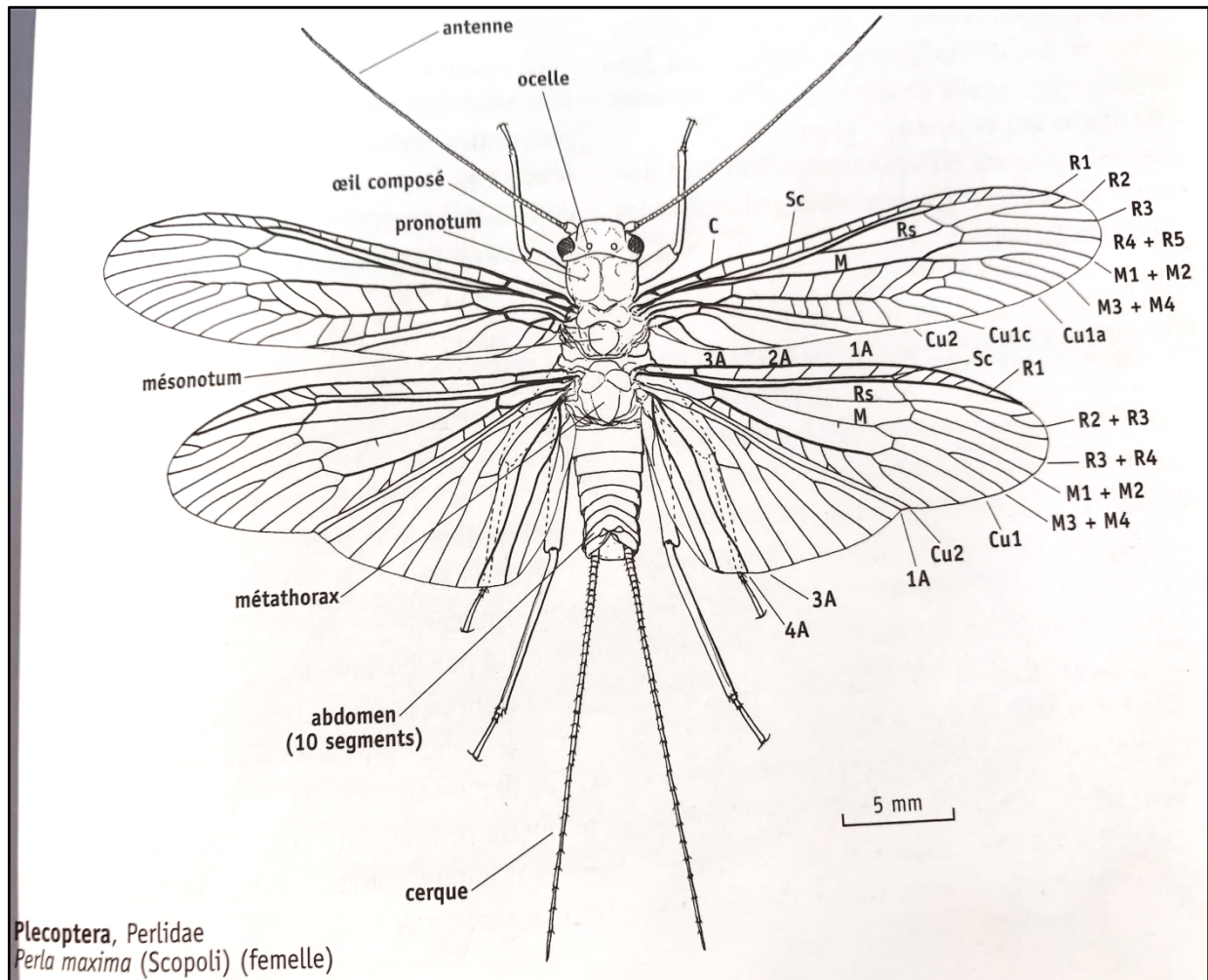


Figure 7. Plecoptera Perlidae, *Perla maxima* femelle.

. **Orthoptera** (Figure 8): Insecte paurométaboles à pièces buccales de type broyeur, la grande majorité sont phytophages alors que certains sont prédateurs. Il existe 20 000 espèces divisées en deux sous-ordres: les Ensifères et les Caelifères (Dajoz, 2010). Ce sont des habitants des régions chaudes et leur abondance devient faible en se rapprochant des régions polaires. Les pattes postérieures sont adaptées au saut, les autres étant marcheuses. Les ailes souvent durcies comme des élytres recouvrent les ailes postérieures au repos. L'organe de l'audition se trouve sur les tibias antérieurs dont la présence est indiquée par des membranes appelées tympan. Bien que les deux sexes puissent émettre des sons, la stridulation reste un privilège des mâles et est assurée par deux dispositifs, l'un est fémoro-élytral (Caelifères) et l'autre élytro-élytral (Ensifères). Les juvéniles ressemblent de plus en plus aux adultes au fur et à mesure des mues.

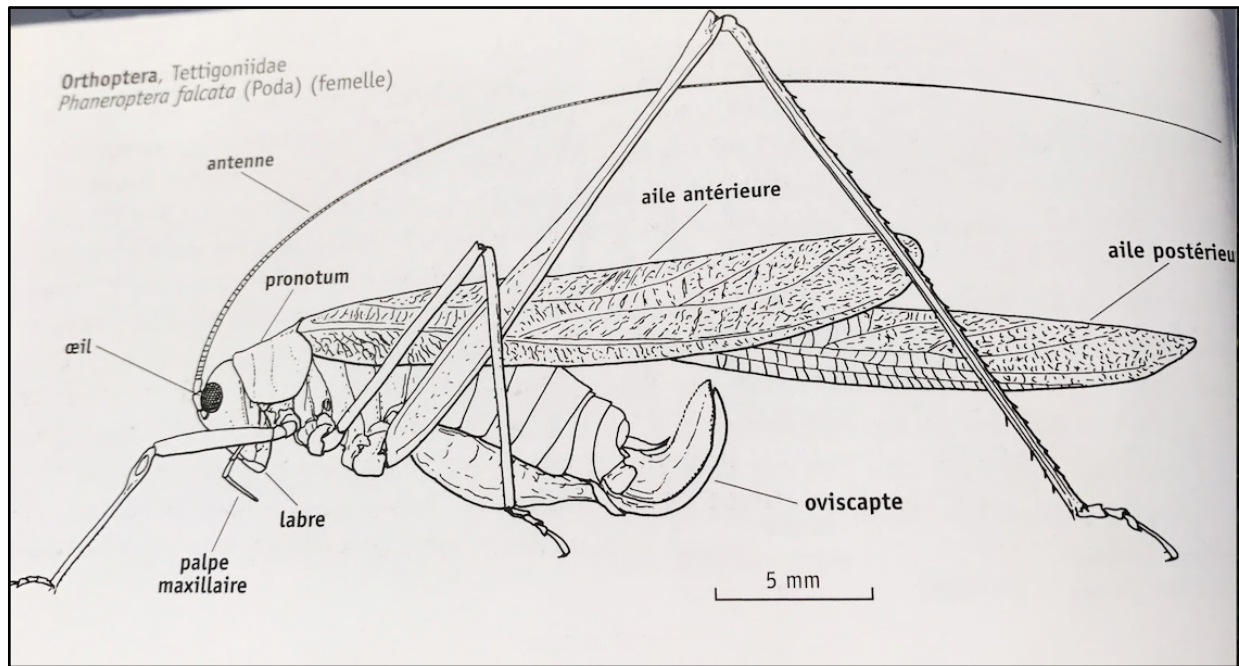


Figure 8. Orthoptera Tettigoniidae, *Phaneroptera falcata* femelle.

. **Dictyoptera:** Insectes au corps déprimé et à nervation alaire abondante, les antennes sont filiforme et les pièces buccales broyeuses, tarse de cinq articles, ailes antérieures en élytre, ailes postérieures membraneuses repliables, paire de cerques articulés, les oeufs sont pondus agglomérés dans un oothèque. Cet ordre est divisé en deux sous-ordre: es Blattodea et les Mantodea.

. **Hemiptera** (Figure 9): Avec 85 000 espèces (Dajoz, 2010) cet ordre d'insectes, qui réunit les deux anciens ordres des Homoptères et des Hétéroptères, est actuellement divisé en cinq sous-ordres: les quatre premiers (Coléorhynques, Fulgoromorphes, Cicadomorphes et Sternorrhynques) correspondent aux anciens Homoptères, le cinquième sous-ordre est celui des Hétéroptères. Les Hémiptères sont des hétérométaboles de formes très variées avec des pièces buccales transformées en un rostre de un à quatre articles formé par le labium, dans lequel glissent des stylets piqueurs formés par les mandibules et les maxilles et sont dépourvus de palpes labiaux. Les Hétéroptères sont des insectes terrestres ou aquatiques dont les pièces buccales sont de type piqueur-suceur, les larves ressemble aux adultes et subissent un développement hémimétabole en passant par cinq mues. Les espèces aquatiques respire à la surface de l'eau à la manière de certains coléoptères, ou, sont dotés d'un long siphon respiratoire. Les homoptères sont exclusivement terrestres avec un appareil buccal également de type piqueur-suceur, les ailes membraneuses ou coriacées sont placées en toit au-dessus du corps.

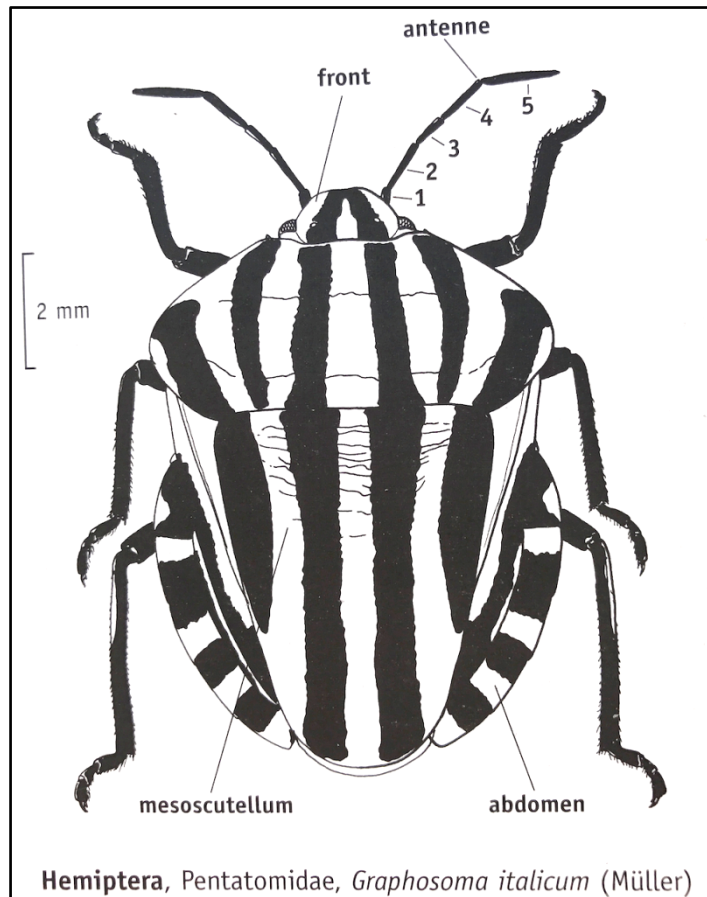


Figure 9. Hemiptera Pentatomidae, *Graphosoma italicum*.

. **Coleoptera** (Figure 10): Cet ordre renferme 350 000 espèces réparties dans environ 130 familles, le nombre et la définition de ces dernières varie selon les auteurs (Dajoz, 2010). Les Coléoptères constitue l'ordre le plus dominant numériquement et l'on estime qu'ils représentent près du tiers du monde animal. Ce sont des insectes holométaboles à pièces buccales de type broyeur avec des yeux composés généralement bien développés, et dont le prothorax ample est recouvert d'un bouclier formant le pronotum. Le scutellum, de forme triangulaire, est aux confins du thorax et de la suture des élytres (ailes antérieures dures et sclérifiées, ces dernières recouvrent en général la partie postérieure du thorax ainsi que la totalité ou presque de l'abdomen. La forme des pattes varie en fonction du mode de vie: fouissage, natation, etc. Les Coléoptères sont surtout terrestres même si beaucoup peuvent être aquatiques ou peuvent voler, ils sont divisés en quatre sous-ordres: Myxophaga, Archostemata, Adephaga et Polyphaga.

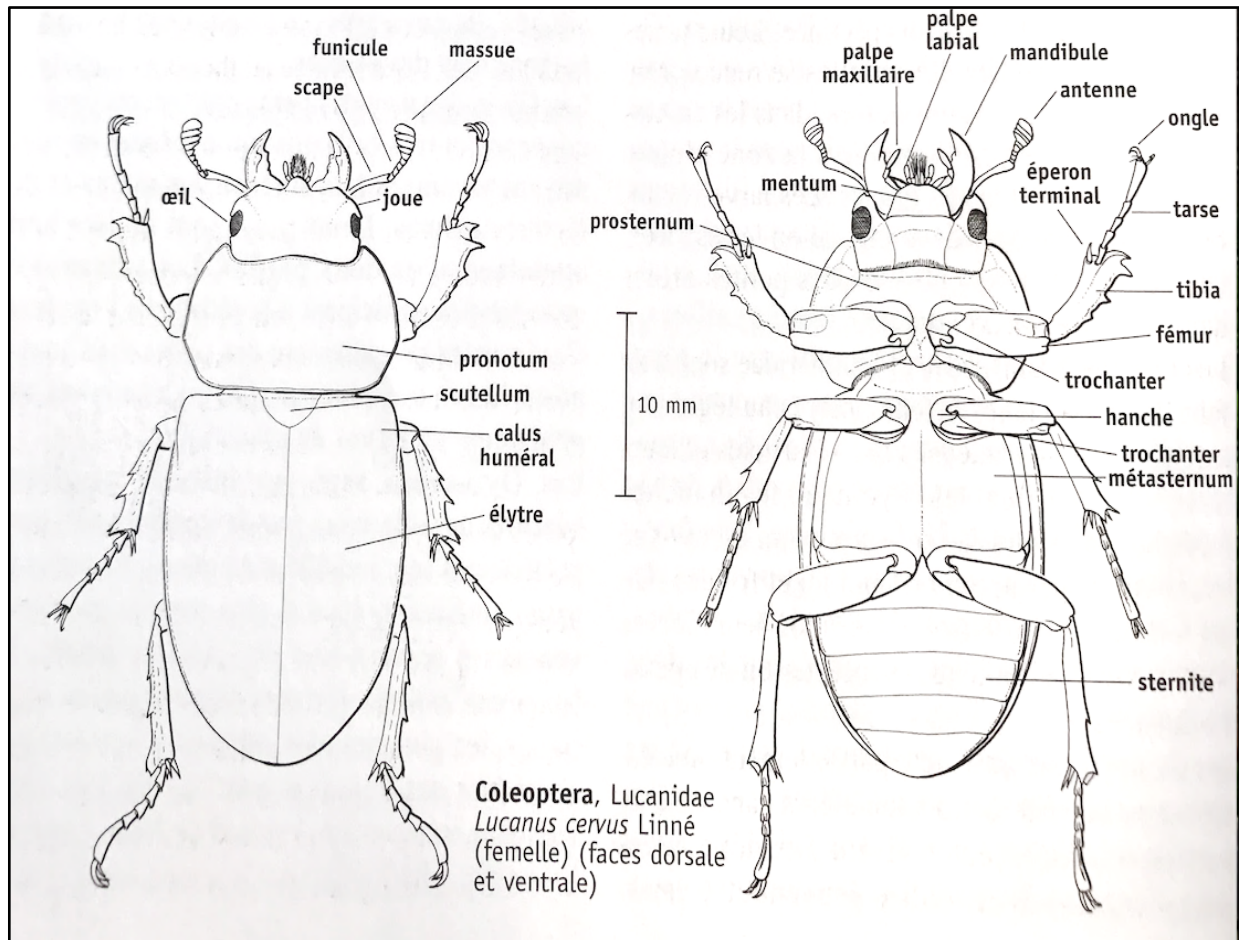


Figure 10. Coleoptera Lucanidae, *Lucanus cervus* femelle (face ventrale et dorsale).

. **Hymenoptera:** Il existe environ 120 000 espèces décrites appartenant à 90 familles, réparties entre deux sous-ordres: les Symphytes ou Tenthredes et les Apocrites ou Pétiolés (Dajoz, 2010). Le régime alimentaire est très divers: phytophage, prédateur, parasitoïde. Par leur nombre, leur diversité, leur importance dans la chaîne trophique et leur rôle dans la lutte biologique (ennemis des ravageurs de cultures), ils constituent un ordre d'insecte holométaboles des plus remarquables (Dajoz, 2010). Ailes membraneuses et transparentes avec peu de nervures parfois presque disparues ou même absentes; tête séparée du prothorax par un cou très mince, yeux composés de grande taille avec de très nombreuses ommatidies. Les antennes multiarticulées avec des formes variées, les pièces buccales sont de type broyeur chez les formes primitives comme les Tenthredes et de type suceur-lécheur chez les formes évoluées comme l'abeille; les tubes de Malpighi sont nombreux. Le mésothorax est soudé au prothorax qui est très développé, le métathorax, réduit, est soudé au premier segment abdominal appelé segment médiaire. Les larves sont généralement apodes avec tête bien développée ou encore en forme de chenille chez les symphytes. Parmi les nombreuses particularités biologiques de cet

ordre on peut citer la diversité des modes de vie, la fréquence du parasitisme et la parthénogenèse.

. **Lepidoptera:** Etroitement apparentés aux trichoptères avec lesquels ils forment les Amphiesmenoptera, cet ordre regroupe 165 000 espèces, 125 familles et quatre sous-ordres: les Zeugloptères, les Aglossata, les Heterobathmina et les Glossata (Dajoz, 2010). Ils prospèrent dans les régions chaudes et ensoleillées, toutefois, certaines espèces sont restreintes aux bords des pôles et aux sommets des montagnes. Les lépidoptères sont caractérisés par leurs grandes ailes (deux paires fonctionnelles) recouvertes de fines écailles. Chez les imagos, les mandibules et le labium ont disparu ou presque, les pièces buccales sont de type suceur grâce à une trompe formée par les maxilles accolées et réduites aux deux galéas qui s'allongent et se creusent en gouttière pour former la trompe, qui, s'enroule au repos d'où son nom spiritrompe (Chapitre 2, Figure 11) qui peut atteindre plusieurs fois la longueur du corps (elle peut manquer chez certaines espèces qui ont conservé des mandibules permettant de broyer le pollen). La tête est assez petite au regard du corps et porte de gros yeux composés. Les antennes sont de forme variées, en massue, terminées par un bouton, dentées, filiformes ou pectinées (Chapitre 2, Figure 6). Les lépidoptères sont presque tous des insectes phytophages dont les larves (chenilles) ont conservé des pièces buccales broyeuses, les imagos sont des suceurs de nectar. Les rares chenilles aquatiques possèdent des trachéobranches ou des branchies. Au bout de 3 à 4 mues, les chenilles se nymphosent dans un cocon dans le sol ou en se fixant à leur plante nourricière, l'hivernage peut avoir lieu à tous les stades. Les appendices de la chrysalide (nymphe), immobile, des lépidoptères archaïques ne sont pas soudés au corps, alors que chez les plus évolués, tous les organes sont étroitement accolés.

. **Trichoptera** (Figure 11): Insectes holométaboles connus sous le nom de phryganes et liés au milieu aquatique. Leurs pièces buccales sont de type broyeur rudimentaire avec des palpes maxillaires bien développés et des palpes labiaux. Les pattes sont longues, les ailes sont membraneuses et assez poilues ; les ailes antérieures sont allongées et assez étroites, tandis que les postérieures sont plus larges. La tête est petite par rapport au corps et porte des antennes longues et allongées vers l'avant au repos. Les larves vivent en eau douce, parfois saumâtre voire même marine; munies d'un appareil buccal broyeur, elles respirent par des trachéobranches abdominales. Elles peuvent être de deux types: éruciformes végétariennes ou campodéiformes carnivores; ces dernières sont libres et construisent des filets de soie dans lesquels leurs proies sont capturées, les éruciformes fabriquent un fourreau protecteur de soie recouvert de débris divers (petits cailloux, débris de végétaux). Il existe 6000 espèces (Leraut, 2003) réparties dans une quarantaine de familles.

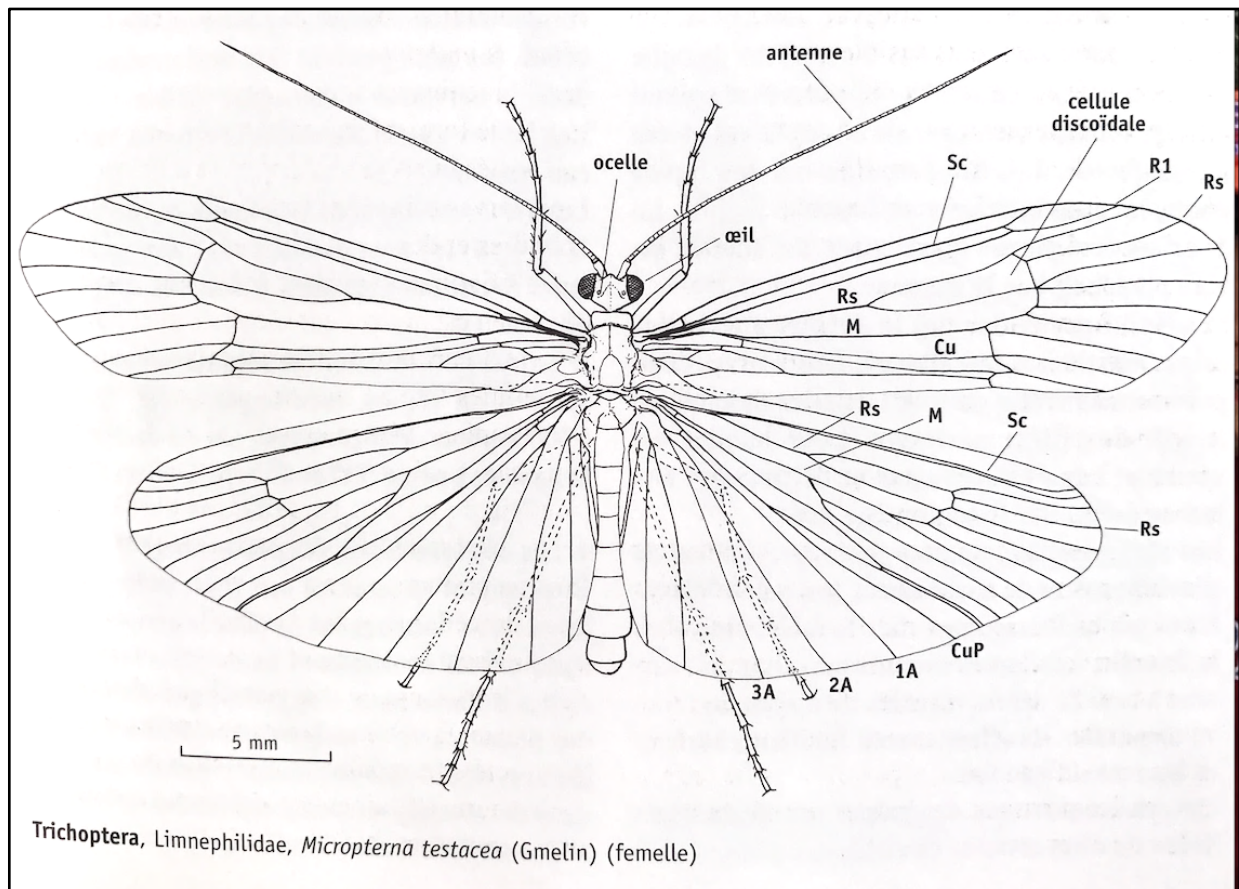


Figure 11. Trichoptera limnephilidae, *Micropterna testacea* femelle.

. **Diptera** (Figure 13): Insecte holométaboles comprenant environ 125 000 espèces connues et constitue de ce fait le deuxième ordre d'importance numérique après les coléoptères. Ce sont des insectes très évolués présents dans toutes les régions du globe, y compris l'Antarctique. Il existe environ 190 familles divisées en deux sous-ordres : les Nématocères et les Brachycères (Dajoz, 2010).

Le mésothorax est le segment le plus développé et porte la deuxième paire de patte, les ailes et les muscles de vol, ils ont conservé seulement les ailes antérieures, le mésothorax est réduit et porte les pattes postérieures ainsi que des ailes postérieures modifiées et réduites deux moignons en haltères ou balanciers utilisées pour l'équilibre lors du vol. L'aile est dotée d'une nervation variable surtout longitudinale, parfois très réduite. Les pièces buccales de type suceur comportent une trompe parfois vulnérante de structure variable. Les antennes sont filiformes (5 à 40 articles) et plus longues que la tête chez les nématocères, elles n'ont que 3 articles dont le dernier est doté d'une longue soie dite l'arista et de ce fait sont courtes chez les brachycères. Les yeux sont bien développés et 3 ocelles existent sur le vertex. Tout le corps

présente un nombre de soies de longueur variable. Les tarsi de cinq articles se terminent par deux griffes recourbées, deux pelotes latérales adhésives appelées pulvilles et une troisième médiane dite empodium. Le nombre de segments apparents de l'abdomen est restreint du fait de la fusion de nombreux d'entre eux. La majorité des adultes sont diurnes, ils se nourrissent de nectar ou du sang de vertébrés, beaucoup ont une grande importance agronomique, médicale et vétérinaire. Les larves sont de formes très variées; la capsule céphalique est développée chez les nématocères et réduite ou absente chez les brachycères. Les larves sont dépourvues de pattes et en général d'aspect vermiforme et vivent dans des milieux divers: bois mort, végétaux vivants ou en décomposition, sol, eau ou encore parasites d'animaux.

. **Dermaptera** (Figure 14): Il existe environ 2000 espèces divisées en trois sous-ordres: les Forficuloidea, les Arixenioidea et les Diploglossata. Ce sont des paurométaboles détritiphages à corps généralement allongé et aplati et possédant des pièces buccales de type broyeur et des antennes filiformes assez longues. Les ailes antérieures sont coriacées et transformées en élytres courts laissant voir une grande partie de l'abdomen; les ailes postérieures sont semi-circulaires avec des nervures disposées en éventail et peuvent se replier sous les ailes antérieures. Les deux cerques sont caractérisés par la présence de cerques modifiés en pinces ou forceps.

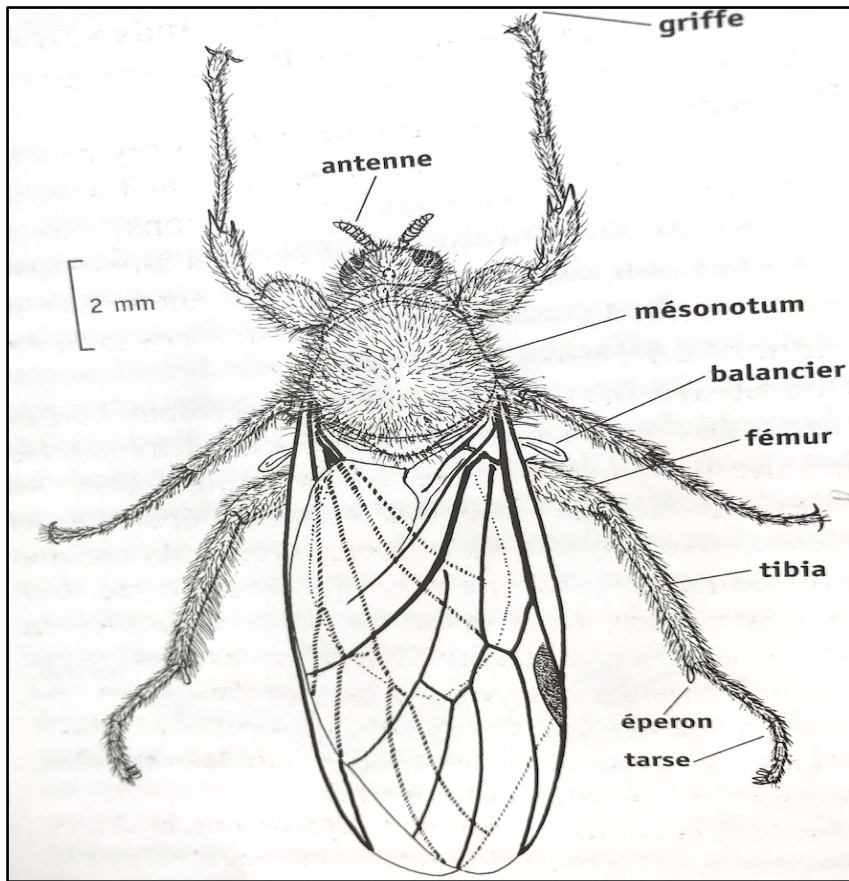


Figure 13. Diptera Syrphidae, *Caliprobola speciosa* mâle.

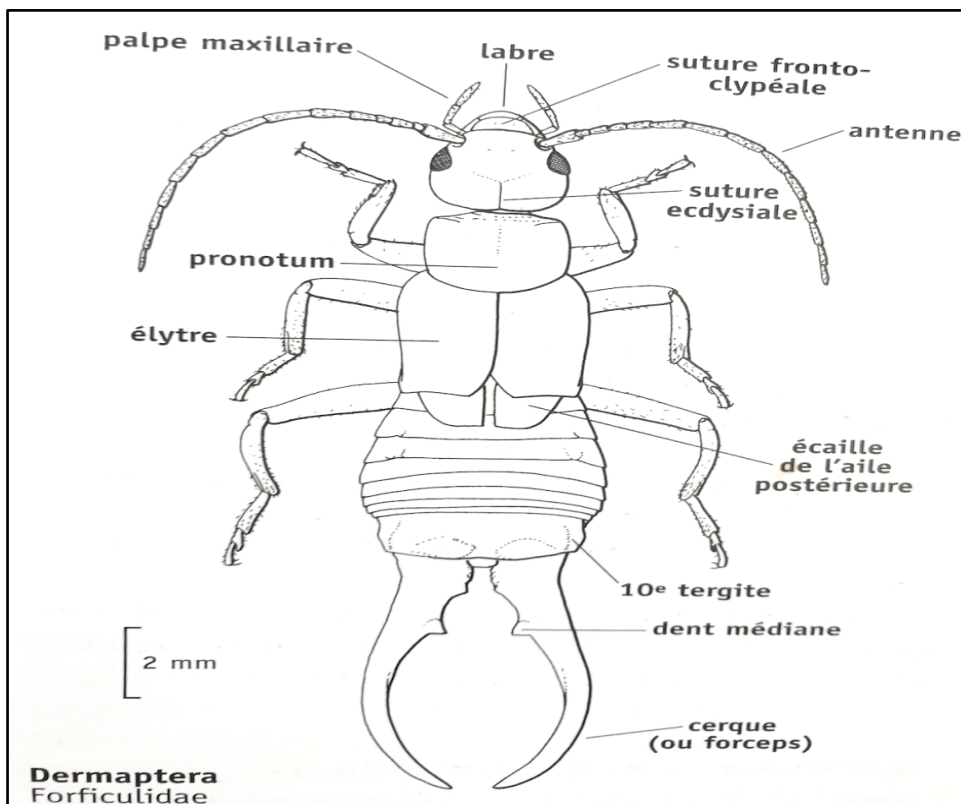


Figure 14. Dermaptera Forficulidae, *Forficula auricularia*.

Références bibliographiques

- Aouissi Cherairia, M. 2015. Contribution à l'Etude des Simuliidae (Insecta, Diptera) de l'Est Algérien: Systématique, Ecologie et Caryologie. Thèse de Doctorat, 232p.
- Bellmann, H. 2015. 450 insectes. Edition Delachaux et Niestlé, Paris, 256p.
- Bourassa, J. P. 2011. Le monde vaccinant des insectes. Edition MultiMondes, Canada, 421p.
- Bourgoin, T.H. 1996. Phylogénie des hexapodes. La recherche des synapomorphies ne fait pas toujours le cladisme. *Bull. Soc. Zool. Fr*, 121 (1): 5-20.
- Cecie, S., Taggart, R., Bonner, J., Allcock, J. & Ross, C. 1984. Biology, The unity and diversity of life. Wadsworth publishing company, Belmont, California, 697p.
- Chapman, R. F. 1998, The Insects: Structure and Function. Cambridge University Press, Cambridge, 901 p.
- D'Aguilar, J. & Fraval, A. 2004. Glossaire entomologique. Edition Delachaux et Niestlé, Paris, 175p.
- Dajoz, R. 2010. Dictionnaire d'entomologie: Anatomie, systématique, biologie. Lavoisier, 321p.
- Daly, H.V., Doyen, J.T. & Purcell, A.H. 1998. Introduction to Insect Biology and Diversity. Oxford University Press, New York.
- Engel, M.S. & Grimaldi, D.A. 2004. New light shed on the oldest insect. *Nature*, 427: 627-630.
- Gilles, R., Anctil, M., Baguet, F., Charmantier, M., Charmantier, G., Péqueux, A., Plumier, J.C. & Sébert, P. 2006. Physiologie animale. Edition De Boeck université, Bruxelles, 675 p.
- Kristensen, N.P. 1991. Phylogeny of extant hexapods. *In the Insects of Australia* (2^e éd), 1: 125-140. Naumann, Carlston, CSIRO, Melbourn University Press.
- Leraut, P. 2003. Le guide entomologique. Edition Delachaux et Niestlé, Paris, 527p.
- Minet, J. & Bourgoin, T. 1986. Phylogénie et classification des hexapodes (Arthropoda). *Cah. Liaison OPIE*, 20 (4): 23-28.
- Roth, M .1980. Initiation à la morphologie, la systématique et la biologie des insectes. Office de la recherche scientifique et technique Outre-Mer, 213p.

Sherwood, L., Klandorf, H. & Yancey, P. 2016. Physiologie animale. Edition De boeck Supérieur s.a. ,757p.

Tachet, H. 2003. Invertébrés d'eau douce. CNRS Editions, Paris, 287p.

Wheeler, W.C., Whiting, M., Wheeler, Q.D. & Carpenter, J.M. 2001. The Phylogeny of extant hexapods orders. *Cladistics*, 17: 113-169.

Webographie:

(1): French shark teeth, requins fossiles DE france et d'ailleurs:

<http://frenchsharkteeth.over-blog.com/tag/bourses%20aux%20fossiles%20-%20expositions/> (consulté le 9 / 2/2017).

(2): Planète Terre:

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/museum-Ardeche-Balazuc.xml> (consulté le 9 / 2/2017).

(3): Insectes dans la Préhistoire:

<https://www.le-moulin-de-prey.org/pages/insectes-info-plus/insectes-dans-la-prehistoire.html> (consulté le 9 / 2/2017).

(4): Les insectes:

<http://licencepro.snv.jussieu.fr/documents/documents%20agepur/cours%20Entomologie%20licence%20pro%202014.pdf> (consulté le 17/02/2017).

(5): Les insectes:

<http://www.afblum.be/bioafb/insectes/insectes.htm> (consulté le 17/02/2017).

(6): Morphologie des insectes, notions d'orientation:

http://www.aberlentomo.fr/02_delvaberl_1989_pdf/029-DelvAberl_morpho.pdf (consulté le 17/02/2017).

(7): EntomoLOGIC, l'entomologie à la portée de tous:

<https://entomologic.jimdo.com/les-insectes/morphologie-et-plan-d-organisation/> (consulté le 17/02/2018).

(8): Insectissimo:

https://www.bioutils.ch/ckeditor_assets/attachments/379/dossier_pedagogique_insectissimo_3p-6p_30_pages.pdf (consulté le 18/02/2018).

(9): Note de synthèse: la vision chez les insectes:

<http://www.enssib.fr/bibliotheque-numerique/documents/63506-les-vision-chez-les-insectes.pdf> (consulté le 18/02/2018).

(10): Les pièces buccales et l'alimentation des insectes. Calatayud, P. A. 2013. Interactions Insectes-Plantes, Chapitre 5:

https://www.researchgate.net/publication/274509860_Les_pieces_buccales_et_l'alimentation_des_insectes 18/02/2018.

(11): EntomoLOGIC:

<https://entomologic.jimdo.com/les-insectes/morphologie-et-plan-d-organisation/> (consulté le 23/02/2018).

(12): Le tube digestif des insectes. Calatayud, P. A. 2013. Interactions Insectes-Plantes, Chapitre6:https://www.researchgate.net/publication/274509926_Le_tube_digestif_des_insectes (consulté le 24/02/2018).

(13): La respiration des insectes:

<https://sites.google.com/site/tpcorrezegoasguenlabrousse/Home/i-trucmuche/a-mode-de-fonctionnement> (consulté le 27/02/2018).

(14): Travaux pratiques Arthropodes 1 er TP:

<http://ac-reims.iconito.fr/static/classeur/8246-34b72c3c0d/49271-83586b5b31.pdf> (consulté le 28/2/2017).

(15): Le développement des insectes, mue et métamorphose:

<https://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i1181amy.pdf> (consulté le 2 /3/2017).

(16): Biologie Animale, Chapitre 5-4: Le Développement Embryonnaire des Arthropodes:

<http://www.biodeug.com/licence-3-biologie-animale-chapitre-5-4-developpement-embryonnaire-des-arthropodes> (consulté le 4 /3/2017).

(17): La respiration aquatique des insectes:

<http://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i146ramel.pdf> (consulté le 9/3/2017).

(18): Gerridae-Water Striders:

<http://www.austinbug.com/gerridae.html> (consulté le 10/3/2017).

