

Introduction

Les insectes (Insecta) sont une classe d'animaux invertébrés de l'embranchement des arthropodes et du sous-embranchement des hexapodes. Avec près de 1,3 million d'espèces décrites existant encore (et près de 10 000 nouvelles espèces inventoriées par an), les insectes constituent la plus grande part de la biodiversité animale (définie par le nombre d'espèces). On estime à entre 5 et 80 millions d'espèces possibles, ce qui représenterait plus de 80 % des différentes formes de vie animale⁵. Leur biomasse totale serait 300 fois plus importante que la biomasse humaine, quatre fois supérieure à celle des vertébrés, sachant que les insectes sociaux représentent à eux seuls la moitié de la biomasse des insectes.

Comme tous arthropodes, les insectes ont un corps segmenté soutenu par un exosquelette qui est composé d'une cuticule chitineuse. Les segments du corps sont organisés en trois parties principales qui sont la tête, le thorax et l'abdomen. La tête possède une paire d'antennes, une paire des yeux composés, des ocelles et trois ensembles d'appendices modifiés qui forment les pièces buccales. Ces appendices se sont spécialisés avec l'évolution, si bien que maintenant on en retrouve plusieurs types (broyeur, suceur, suceur-piqueur, suceur-spongieux et suceur-lécheur).

Le thorax est composé de trois segments (prothorax, mésothorax et le métathorax) et porte généralement tous les organes locomoteurs (ailes ou pattes). L'abdomen est composé la plupart du temps de onze segments qui peuvent parfois porter des appendices tels des cerques par exemple. À l'intérieur, il contient une partie des organes importants comme l'appareil digestif, le système respiratoire, le système excréteur et les organes reproducteurs. On retrouve une grande variabilité et de nombreuses adaptations dans la composition des parties du corps de l'insecte, en particulier les ailes, les pattes, les antennes et les pièces buccales.

Le cycle de vie des insectes passe par plusieurs stades de transformations physiques appelés « mues » et implique généralement plusieurs métamorphoses. Ce cycle évolutif est une série de stades (œuf, larve, nymphe, adulte) qui se succèdent au cours d'une génération complète, les insectes étant caractérisés par le stade nymphal de la métamorphose. Ce cycle peut être interrompu annuellement par des conditions climatiques défavorables (température, pluie, manque de nourriture, etc.). La diapause est le terme qui réfère à cet arrêt prolongé au cours du cycle de vie de l'insecte.

Les insectes primitifs de la sous-classe des Apterygota ont un développement dit sans métamorphose ou amétabole. Dès la naissance, le jeune insecte est très semblable à l'adulte, à la taille près (« amétabole » équivaut à « sans changement »). Du côté des insectes ptérygotes, on retrouve deux types de transformations : hémimétaboles (hétérométaboles) et holométaboles.

Le développement est contrôlé par une hormone stéroïde, l'ecdysone, qui est produite dans des glandes prothoraciques et permet la mue. Une autre hormone, l'hormone juvénile, inhibe la métamorphose. Elle est produite dans les corps allates, (organe endocrine près de l'œsophage).

La reproduction des insectes est également contrôlée par 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 pour l'attraction et la reconnaissance des individus au sein d'une espèce.

Les insectes jouent un rôle de plus important dans les écosystèmes. Premièrement, ils permettent l'aération du sol et le brassage de la matière organique qui s'y retrouve. Ils entrent également dans la chaîne alimentaire en tant que proies et prédateurs. De plus, ils sont d'importants pollinisateurs et de nombreuses plantes dépendent des insectes pour se reproduire. Finalement, ils recyclent la matière organique en s'alimentant des excréments, des carcasses d'animaux et des plantes mortes, et la rendent ainsi disponible pour d'autres organismes. D'ailleurs, ils sont responsables en grande partie de la création des terres arables. Les insectes sont inféodés aux terres émergées. Quelques-uns vivent en eau douce et à de rares exceptions en mer. On les trouve sous presque tous les climats, du plus chaud au plus froid.

CHAPITRE I

LE TÉGUMENT

Les Cuticulates possèdent tous un revêtement externe appelé cuticule, chez les Insectes, et tous les Arthropodes en général, cette cuticule est majoritairement rigide, constituée de chitine et protéines associées et composée de plusieurs couches, dont 3 principales (épicuticule, exocuticule et endocuticule).

I. Propriétés de la cuticule

Le revêtement cuticulaire intervient de façon déterminante sur de nombreux aspects de la physiologie et de la vie des Insectes. Ses propriétés chimiques et physiques en font une barrière efficace entre le milieu extérieur et l'organisme et donc une protection contre les pertes d'eau, la pénétration de substances, les attaques d'éléments pathogènes, etc. Ses propriétés mécaniques lui font assurer le rôle d'exosquelette dont la présence permet la réalisation de mouvements précis, et induit une croissance par mues (exuviations).

I- 1 L'épiderme et les formations associées

I-1-A Les cellules épidermiques:

L'épiderme, épithélium uni stratifié, forme une couche continue sous la cuticule. A coté des cellules banales qui participent à la sécrétion du revêtement squelettique, d'autres cellules sont spécialisées pour réaliser des structures sensorielles, se sont différenciées en glandes sécrétrices particulières.

I-1-B Les Oenocytes

Les Oenocytes sont des cellules d'origine ectodermique qui se sont différenciées pendant le développement embryonnaire; les Oenocytes peuvent rester en étroite association avec l'épiderme, se trouvant entre les cellules épidermiques et la membrane basale. Mais souvent ils se séparent de l'épiderme: chez les Lépidoptères, certains coléoptères et Diptères ils forment des amas au voisinage des stigmates, chez d'autres insectes ils sont englobés dans le corps gras.

II. Organisation générale de la cuticule

La cuticule a une épaisseur et des propriétés physiques et mécaniques qui varient selon les parties du corps et les espèces d'insectes considérées. Mais on y reconnaît des caractéristiques fondamentales. La cuticule est une structure acellulaire sécrétée par un épithélium formé de cellules épidermiques reposant sur une membrane basale. De plus, la cuticule est composée de plusieurs couches (fig. 1)

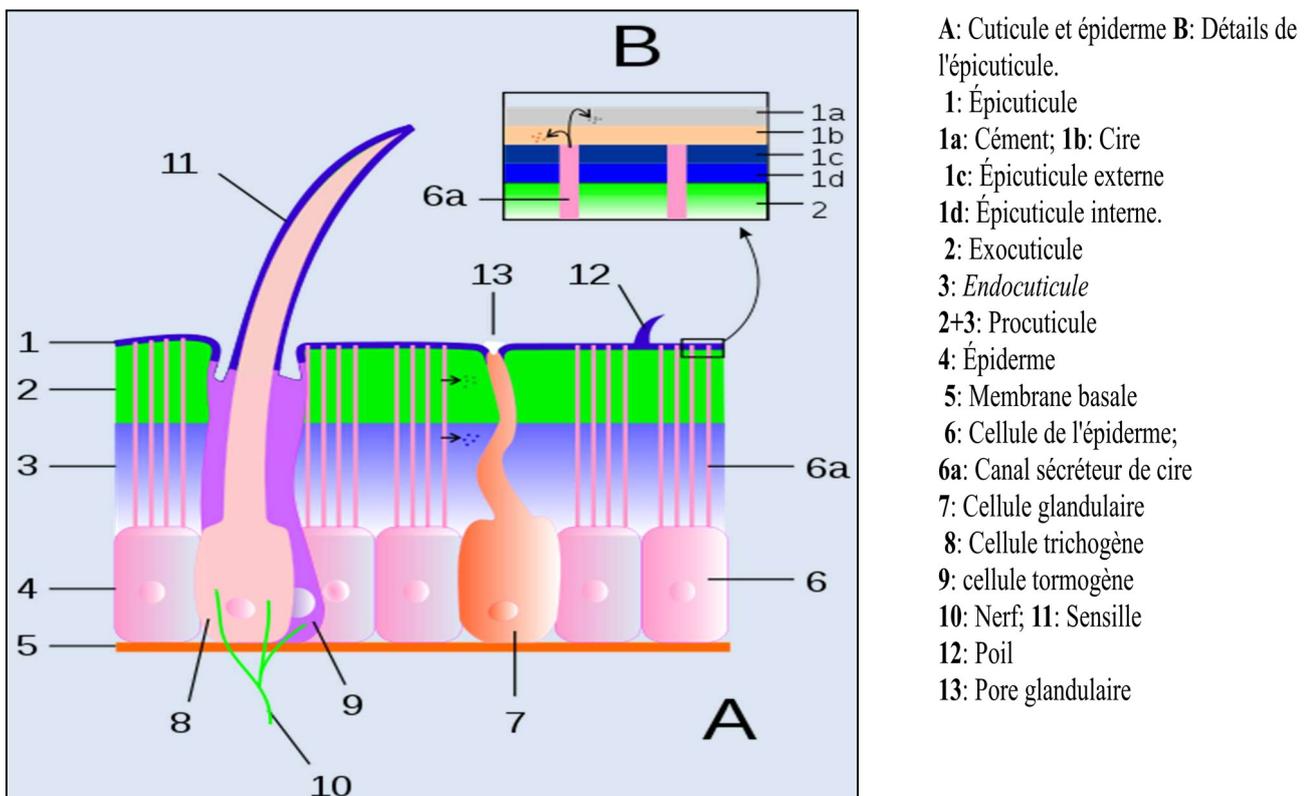


Figure 1 : Composition de la cuticule des insectes

II- 1 La tectocuticule ou ciment:

C'est une couche superficielle qui constitue une sorte de vernis protecteur de la couche cireuse. Elle est très mince, d'épaisseur inférieure à 1μ ; élaborée immédiatement par les glandes dermiques après exuviation, composée de lactose et de lipides. Une couche cireuse: Bien que mince elle serait faite de deux sous-couches, une couche externe amorphe et une autre pseudocristalline composée de cylindres pressés les uns contre les autres et dont la fusion engendre une cire amorphe. Par endroit, la cire peut traverser le ciment et gagner

l'extérieur. Elle est produite peu de temps après la mue par des cellules épithéliales cireuses spécialisées ou par des Oenocytes. Chimiquement cette couche est un mélange de paraffine en 27° C à 31° C, d'esters, d'alcools supérieurs (24°C à 30°C) et d'acides gras non saturés en 16°C à 34°C.

II-2 L'épicuticule:

Composée de deux sous-couches:

II-2-1 Épicuticule externe (cuticuline) :

Plus mince (200 Å). Elle est d'une grande importance; elle détermine la forme du corps joue un rôle essentiel dans la perméabilité et l'absorption de l'eau constitue une barrière contre les agents physiques et chimiques. Composée chimiquement de lipides ressemblant à des paraffines elle est traversée verticalement par des canaux dont les cylindres de cire.

II-2-2 Épicuticule interne:

C'est une couche très mince d'une épaisseur de l'ordre du micron faiblement plissée ce qui permet aux larves une certaine croissance pendant les inter-mues. Elle est formée dès l'apolyse immédiatement après l'épicuticule externe à partir de vésicules protéiniques (Appareil de Golgi).

II-3 La procuticule:

Elle contient de la chitine, composé caractéristique des Arthropodes et abondant chez les insectes. Généralement formée de deux sous-couches:

II- 3-1 L'exocuticule:

Couche externe, rigide grâce à la présence de protéines tannées -comme la Sclérotine. Elle est mince, voire absente dans les régions articulaires et au niveau des lignes exuviales de manière à permettre les mouvements ou la sortie de l'insecte. Par contre elle est développée en particulier chez les insectes à tégument dur notamment les Coléoptères. Elle prend sa teinte rouge caractéristique ou conserve le plus souvent sa couleur naturelle, brune.

II-3-2 L'endocuticule:

Couche interne, ne contient pas de protéines tannées. Elle est plus épaisse que l'épicuticule (10 à 20 μ), élastique, incolore, très riche en chitine (50%) et en protéines diverses dont

l'arthropodine et la résiline. Elle est feuilletée d'une manière régulière et striée verticalement par de fins canaux qui joignent les cellules épidermiques à l'épicuticule où ils s'ouvrent par des pores.

II-4 La mésocuticule; chez certains insectes comme les blattes il existe une région intermédiaire riche en tyrosine et d'une teinte rouge. Ses propriétés sont comprises entre celles de l'endocuticule et l'exocuticule.

III. Les éléments du tégument :

Après la cuticule, on distingue divers éléments dans le tégument des insectes:

*La sous-cuticule: qui sépare l'apex des cellules épidermiques de l'endocuticule . C'est un espace rempli par des mucopolysaccharides acides qui par leurs propriétés physiques et chimiques participent à l'équilibre hydrique.

* Les cellules épidermiques

* Les canalicules cuticulaires: qui traversent intégralement ou en partie la cuticule et permettent notamment d'excréter les substances produites par les glandes dermiques. On distingue:

des canalicules exuviales: se terminant dans l'espace qui sépare la nouvelle cuticule de la vieille

*des canalicules cirifères : traversent l'épicuticule et mettent en place les structures cireuses

*des canalicules du ciment

* des canalicules poraires: elles sont occupées par un axe cytoplasmique

IV. Constituants chimiques de la cuticule

On sait déjà que la procuticule contient de la chitine et des protéines.

IV-1. La chitine:

Est une substance souple, molle, perméable et incolore, qui représente 33 à 55 % du poids sec de la cuticule. C'est un polysaccharide azoté de poids moléculaire élevé, dont l'unité est le N-acétyl-glucosamine. La chitine est donc une molécule linéaire, non ramifiée qui a de nombreuses propriétés en commun avec la cellulose. Les chaînes sont liées entre elle par de multiples ponts H. La chitine est associée à des protéines sous la forme de complexes glycoprotéiques plus ou moins stables.

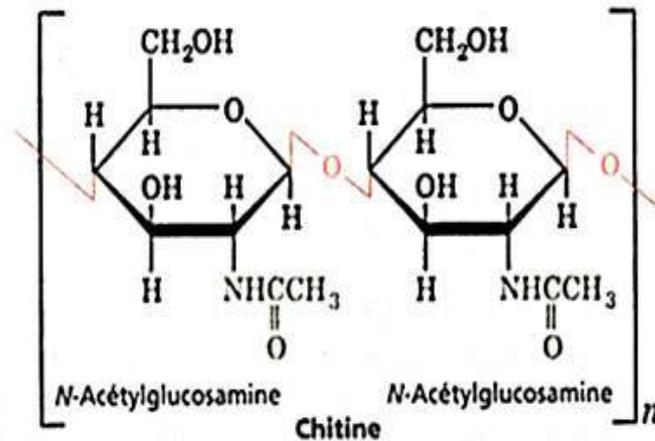


Figure. 2 : Chitine ; Formule de structure

IV-2 Les protéines : Les protéines représentent 25 à 37 % du poids sec de la cuticule. Parmi elles :

1. **L'arthropodine:** en fait un mélange de protéines est celle qui est prédominante. Ces complexes glycoprotéiques, donnent à la cuticule une structure fibreuse. La dureté de la cuticule est due à une sclérotinisation qui s'effectue peu après la mue. Il s'agit du tannage d'une protéine, l'arthropodine elle-même, par des quinones
2. **La Sclérotine:** Les molécules de quinone réagissent avec des groupes amine libres des molécules protéiques et réalisent des liaisons transversales entre les différentes chaînes. Cette protéine tannée nommée **sclérotine** se trouve dans l'Exocuticule est colorée, contribue avec le dépôt de mélanines à la coloration de la cuticule.
3. **La Résiline:** La chitine peut être associée à une protéine très particulière, la résiline, (abondante dans l'Endocuticule) dont les propriétés rappellent celle de l'élastine. Cette molécule géante présente les mêmes caractéristiques mécaniques que le caoutchouc; la résiline peut être étirée et reprendre ensuite immédiatement sa longueur initiale dès que la tension est supprimée.

IV-3. Les lipides:

Ils sont présents dans la cuticuline, la couche cireuse et le ciment. La cuticuline qui la recouvre est d'une extrême minceur et serait constituée de lipides orientés perpendiculairement à la surface. Au contact de la cuticuline, les molécules de cires de la couche cireuse se disposent en une assise monomoléculaire très régulière.

V. Principaux rôles de la cuticule :

- Préserver l'intégrité de l'organisme et participe comme exosquelette
- Déterminer la forme et la couleur de l'insecte
- protéger le corps contre la déshydratation et les agressions physiques et chimique du milieu extérieur
- assure la réception et la diffusion des informations indispensable à la subsistance et à l'adaptation de l'insecte dans son milieu
- intervient dans la sensibilité (organes sensoriels) et dans les fonctions reproductrices (émission des phéromones, développement des organes reproducteurs).
- elle est impliquée dans les fonctions de nutrition: la cuticule sert de réserve de nourriture lors de la mue et de la diapause
- Confère à l'insecte le caractère de croissance discontinue qui ne peut s'effectuer que par les phénomènes de mue et de métamorphose se traduisant par des activités cyclique des cellules épidermiques.

VI. Couleur du tégument :

On distingue 2 types de couleurs : pigmentaires et structurales (ou physique)

1/ pigments cuticulaires: (les mélanines et les caroténoïdes)

a/ Les mélanines: Sont les plus fréquentes, elles se situent généralement dans l'exocuticule qu'elles colorent en noir, brun, et jaune. La mélanisation liée à la sclérotinisation dépend du métabolisme de l'insecte.

b/ Les caroténoïdes: Proviennent de l'alimentation et colorent l'insecte en rouge, en orange et en jaune par exemple la B carotène colore en jaune les criquets du genre *Shistocerca* et certaines sécrétions comme la cire des abeilles et la soie du *Bombyx*

2/ Les pigments épidermiques et sous épidermiques: Ces couleurs sont instables, elles peuvent disparaître après la mort de l'insecte

- a/Les Ommochromes: donnent des teintes jaunes, brunes ou rouges
- b/Les pétrines: donnent des teintes blanches, jaune, rouges et oranges chez les guêpes et les Piérides dans les ailes de ces derniers se trouvent la leucoptérine (Orange), la Xanthoptérine (jaune) et l'Erythroptérine (rouge)

- Les lipochromes: sont des colorants sous-épidermique et provient des plantes

Chez les pucerons, les cochenilles, les Cetoines et les Ténébrionides, des dépôts de pigments sur la cuticule sont formés à partir de sécrétions souvent blanches filamenteuses composées de cire d'autres insectes comme les larves des Diptères Chironomes apparaissent rouges, la couleur de leur sang étant visible à travers le tégument. Elles possèdent de l'hémoglobine. dans les yeux composés de certains insectes on trouve de pigments insectorubines qui leur donnent coloration verte ou bleu métallique.

VII. Perméabilité de la cuticule

1-Perméabilité à l'eau:

La Procuticule est constituée essentiellement d'un complexe chitino-proteique hydrophyle contenant une grande quantité d'eau. La sclérotinisation accompagnée d'une déshydratation diminue la perméabilité. Celle-ci reste donc assez élevée au niveau des membres articulaires ; les sensilles avec les prolongements cytoplasmiques qui traversent la cuticule, les divers types de canalicules sont également des voies pour le transport de l'eau. L'épicuticule avec sa couche cireuse offre une barrière contre le passage de l'eau vers l'intérieur ou vers l'extérieur.

2-Perméabilité aux insecticides

La présence de la cuticule diminue la vitesse d'action des insecticides, l'imperméabilité aux produits est en relation avec l'épaisseur et la sclérotinisation de la cuticule. La cuticule devient plus épaisse lorsque la larve passe d'un stade au suivant. Les larves âgées sont donc généralement nettement plus résistantes aux insecticides. La couche lipidique de l'épicuticule est chez la plupart des insectes, le principal obstacle à la pénétration des solutions aqueuses et même de certaines solutions lipophiles. Le DDT et les produits chimiquement proches sont très solubles dans les lipides, s'accumulent dans la cuticule de *Phormia terranova* et ne peuvent diffuser dans l'hémolymphe

CHAPITRE II

LES MUSCLES DES INSECTES

Chez les Arthropodes, la présence d'un exosquelette articulé a profondément influence l'évolution de la musculature .Des muscles très nombreux responsables de mouvements spécifiques pour des parties déterminées du corps se sont développés si bien que la musculature squelettique est particulièrement complexe ; le muscle d'insecte et le muscle strié de Vertébrés ont une structure générale semblable.

I-Organisation anatomique de la musculature

Les muscles sont classés en plusieurs catégories selon leur localisation

Muscles squelettiques, muscles viscéraux et myocardes.

1/Les muscles viscéraux : Revêtent les organes à l'intérieur de la cavité générale .ils peuvent former une double couche régulière de fibres longitudinales et circulaires autour du tube digestif.

2/ Les muscles squelettiques : Ont généralement une de leurs extrémités attachées à une partie squelettique fixe l'origine et l'autre reliée à une région mobile. Ils sont souvent très nombreux (environ 200 chez les larves de Lépidoptères) ; leur disposition diffère d'un groupe d'insecte à un autre

3/ Les muscles abdominaux :

La musculature abdominale au moins dans la région prégénitale peut servir de point de départ dans une étude anatomique car elle est généralement conforme à une organisation métamérique assez simple (fig 3), l'abdomen à des muscles segmentaires et intersegmentaires permettant des contractions et des dilatations considérables. Un complexe musculaire important anime les valves génitales des femelles en vue de la copulation, du forage et de la ponte. Le jeu des muscles de l'abdomen est également important chez les mâles pour permettre l'accouplement.

Chaque segment du corps possède trois groupes de muscles : dorsaux, ventraux et latéraux. Les muscles dorsaux et ventraux se répartissent en muscles longitudinaux et en muscles transverses. Les muscles longitudinaux s'étendent sur toute la longueur d'un segment et sont attachés sur les replis intersegmentaires lorsque le tégument est souple ou sur les antercostal de deux segments successifs lorsque la cuticule est sclérotinisée. Agissant ensemble, les muscles longitudinaux dorsaux et ventraux sont rétracteurs, par télescopages des segments abdominaux les uns dans les autres ; agissant séparément, ils provoquent la courbure de l'abdomen. Les muscles transverses, internes par rapport aux précédents sont les muscles des diaphragmes dorsal et ventral. Les muscles latéraux sont pour la plupart intersegmentaires avec insertion tergo-sternale et parfois tergo-pleurale

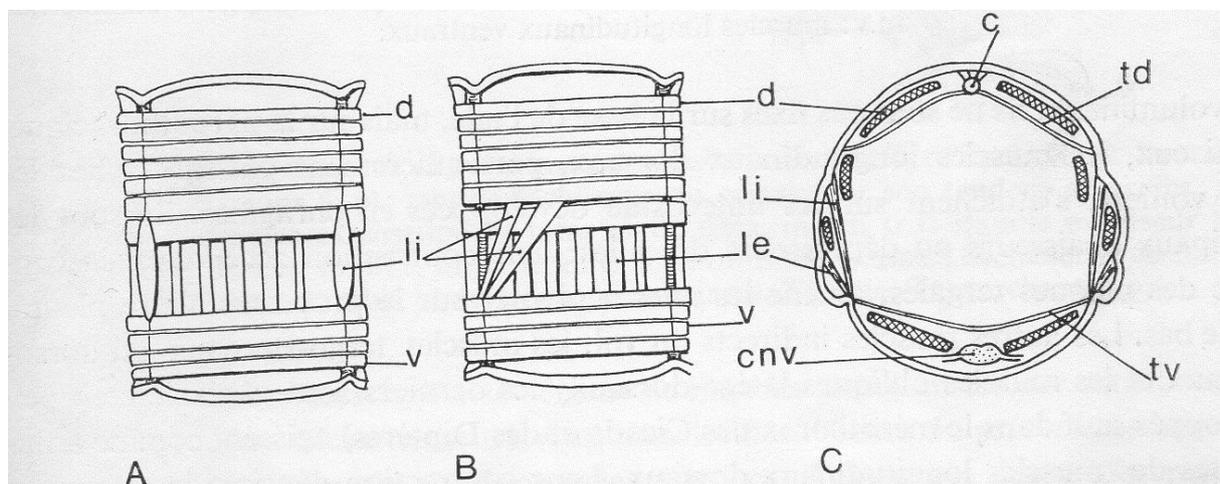


Figure 3: Musculature abdominale, A et B: vue interne de la moitié droite d'un segment, C : coupe transversale d'un segment, C : cœur, cnv : chaîne nerveuse ventrale, d : muscle longitudinal dorsal, le et li : muscles latéraux intersegmentaires, td et tv : muscles transverses dorsal et ventral, v : muscle longitudinal ventral.

4/ Les muscles thoracique : La musculature thoracique atteint sa plus grande complexité dans ptérothorax (mésos- et métathorax) par suite de la présence simultanée des ailes et des pattes. Deux ensembles des muscles agissent sur les mouvements des ailes : les muscles indirects sont habituellement les plus volumineux ; ils ne sont pas fixés sur la base de l'aile, mais sur la paroi thoracique. Les muscles directs du vol comprennent les muscles axillaires et les muscles basilaires et subalaires, insérés sur de petits sclérites épi-pleuraux, les mouvements de l'aile pendant le vol doivent à l'intervention de ces muscles, l'aile

apparaissent décrire un circuit en forme de 8. Les muscles directs interviennent également dans les mouvements d'extension de l'aile.

Les mouvements d'ensemble de la patte sont assurés par la contraction de muscles extrinsèques qui ont leur origine dans le thorax et s'insèrent soit sur le coxa elle-même, soit sur des apodèmes issus de la membrane articulaire coxo-pleurale (fig. 4).

Chez les Acridiens qui présentent une musculature de patte d'un type général avec un seul point d'articulation entre le coxa et le thorax.

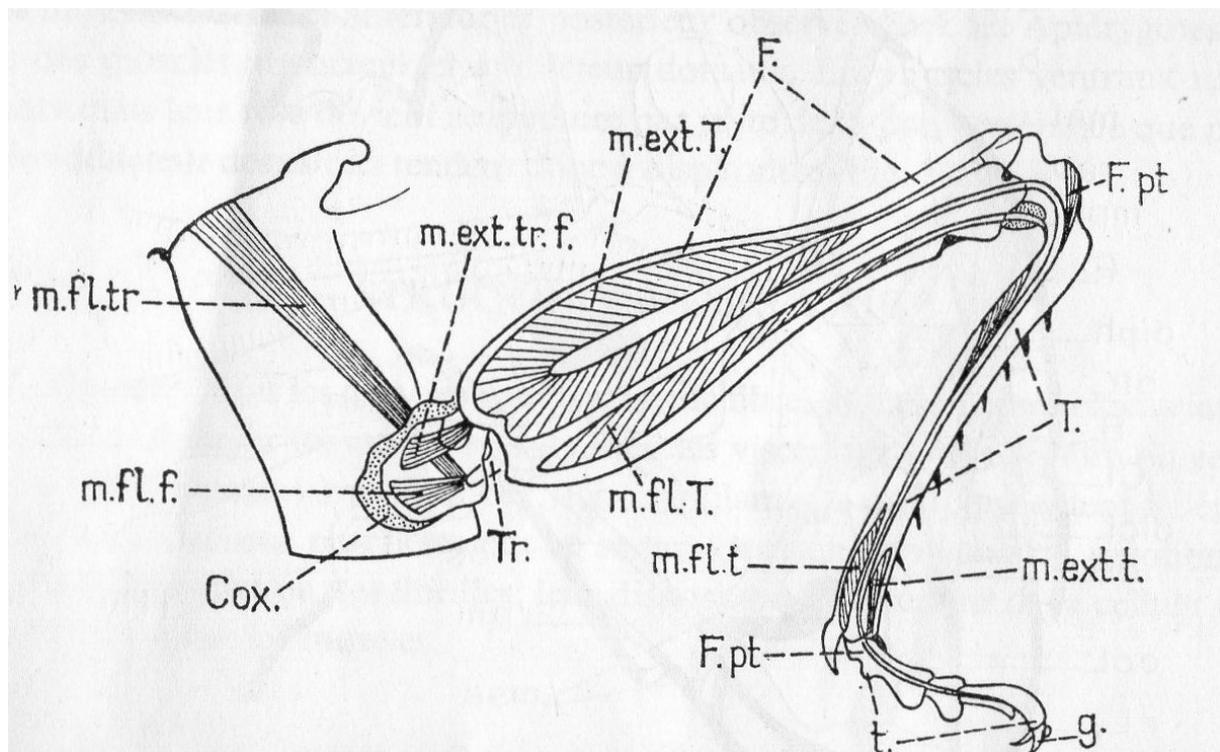


Figure 4: Musculature de la patte postérieure d'une sauterelle

Cox : coxa, F : fémur, F.pt : muscle fléchisseur du prétarse et son tendon, g : griffes, m.ext.t et m. ext.T : muscles extenseurs du tarse et tibia, m.ext. tr.f : muscle du trochanter et fémur, m.fl.f, m.fl.t, m.fl.T, m.fl.tr : muscles fléchisseurs du fémur, du tarse, du tibia et du trochanter, t : tarse, T : tibia, Tr : trochanter

La grande mobilité de la tête est assurée par le cou, étroite zone membraneuse souvent caché par le bord antérieur du prothorax, des muscles longitudinaux dorsaux ou élévateurs de la tête s'attachent en avant sur la crête post-cubitale et en arrière sur le phragme du mésothorax. (fig. 5). Dans la tête, les principaux muscles sont associés aux pièces buccales, à la cavité

préorale, ainsi qu'à la portion céphalique du stomodeum. L'anatomie de la pièce buccale liée au mode d'alimentation.

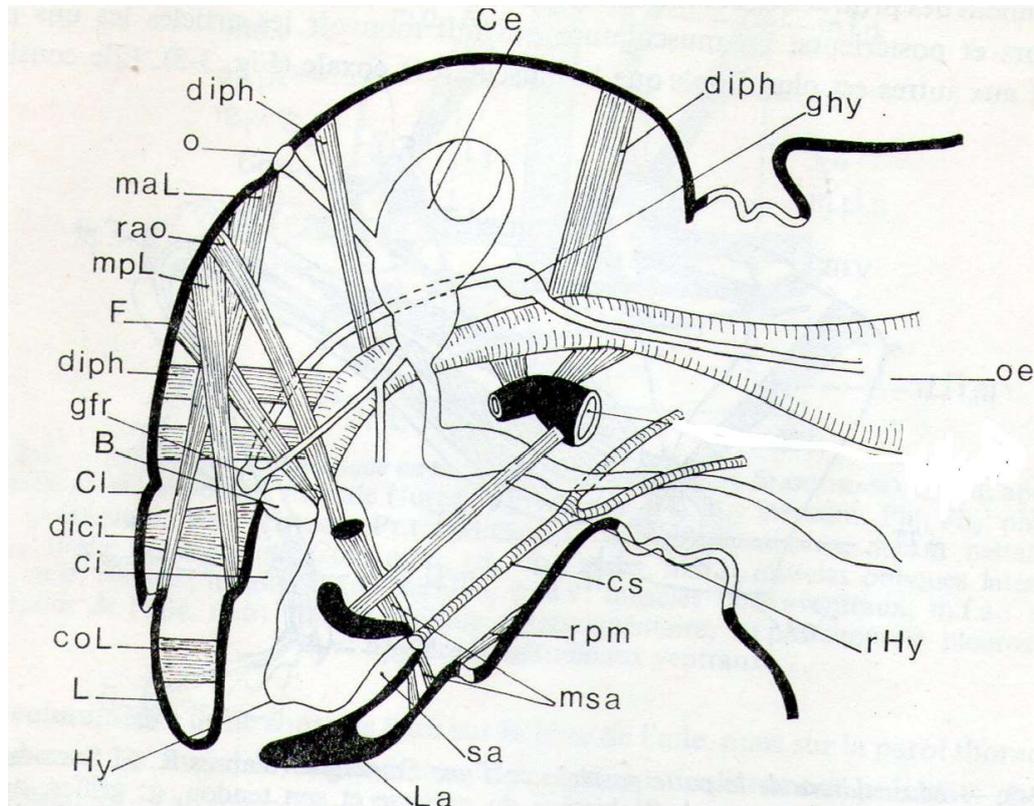


Figure 5 : Musculature céphalique. B : bouche, ce cerveau, ci : cibarium, Cl : clypeus, col : compresseur du labre, cs : canal salivaire, dici : dilatateur du cibarium , diphg : dilatateur du pharynx, F : front , gfr : ganglion frontal, ghy : ganglion hypercébral , Hy : hypopharynx, L : labre , La labium, maL et mpL : muscles antérieur et postérieur du labre , msa : muscles du salivarium, o : ocelle, oe : œsophage, rao : rétracteur, sa : salivarium.

II- Principaux type de muscles

Selon leur forme et leur disposition, on distingue trois types musculaires (fig. 6)

1/ Les muscles lamellaires ou tubulaires : ont des fibres de diamètre relativement petit ; celle-ci apparaissent tubulaire en coupe transversale car les noyaux, sont situés dans une colonne centrale de cytoplasme ; les fibrilles forment des lamelles disposés radialement autour de cette colonne. Ce type de fibre est le plus fréquent, caractéristique de la plupart des muscles du corps ainsi que des muscles du vol chez certains insectes primitifs comme les blattes ou chez les Odonates ou les Mantés ;

2/ Les muscles microfibrillaires :

Chez la plupart des insectes, les muscles du vol sont soit microfibrillaires soit fibrillaires. Dans les muscles microfibrillaires ; les fibrilles ont diamètres qui ne dépasse guère le micron, les muscles microfibrillaires sont typique des Orthoptères, Trichoptères et Lépidoptères.

3/ Les muscles fibrillaires :

Les muscles indirects du vol chez les Diptères, Coléoptères, Hyménoptères et Hémiptères sont des muscles fibrillaires, leurs fibrilles dont le diamètre est de $2\ \mu$ ou plus sont lâchement associé

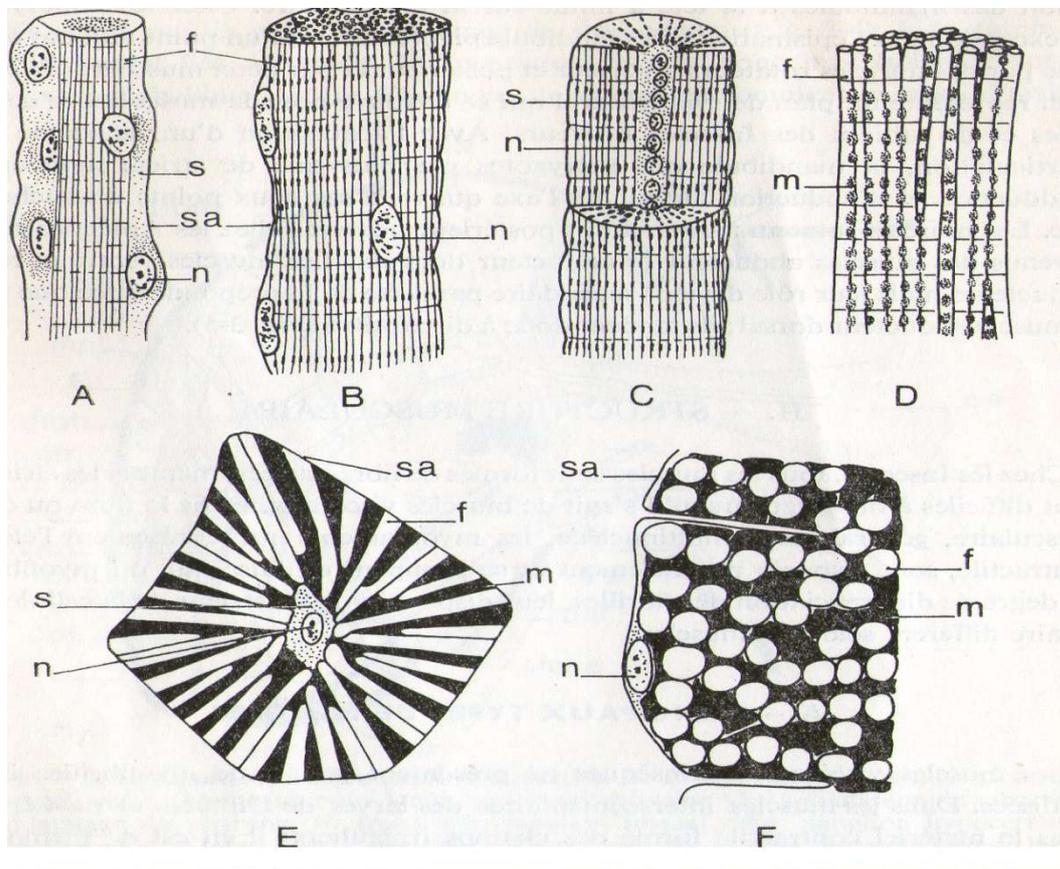


Figure 6 : Type de fibres musculaires squelettiques chez les insectes, A : de larve d'abeille, B : muscle de patte de *Melolontha*, C : muscles des pattes d'abeille (muscle tubulaire), D : muscles indirect du vol d'abeille, E : coupe transversale d'un muscle du vol tubulaire d'Odonate, F : coupe transversale d'un muscle fibrillaire, f :myofibrille, m : mitochondrie, n : noyau, s : sarcoplasme, sa : sarcocolemme

CHAPITRE III

LE SYSTÈME NERVEUX

Généralités :

Le système nerveux qui assure le fonctionnement rapide et la coordination des effecteurs en fonction des informations reçues par les récepteurs, est constitué des cellules dont les longs axones assurent la propagation d'impulsions nerveuses. Ces neurones dérivent au cours du développement embryonnaire de l'ectoderme. Le système nerveux central comprend un cerveau situé dorsalement dans la tête et une double chaîne ganglionnaire ventrale d'où partent des nerfs vers les organes sensoriels périphériques. Un système nerveux viscéral équivalent au sympathique est associé au système nerveux central.

I- Système nerveux central

Le cerveau reçoit les impulsions excitatrices des organes sensoriels de la tête ainsi que des neurones d'associations de la chaîne nerveuse ventrale. IL est donc le principal centre d'association. Le cerveau des insectes se compose de trois parties (fig 7) :

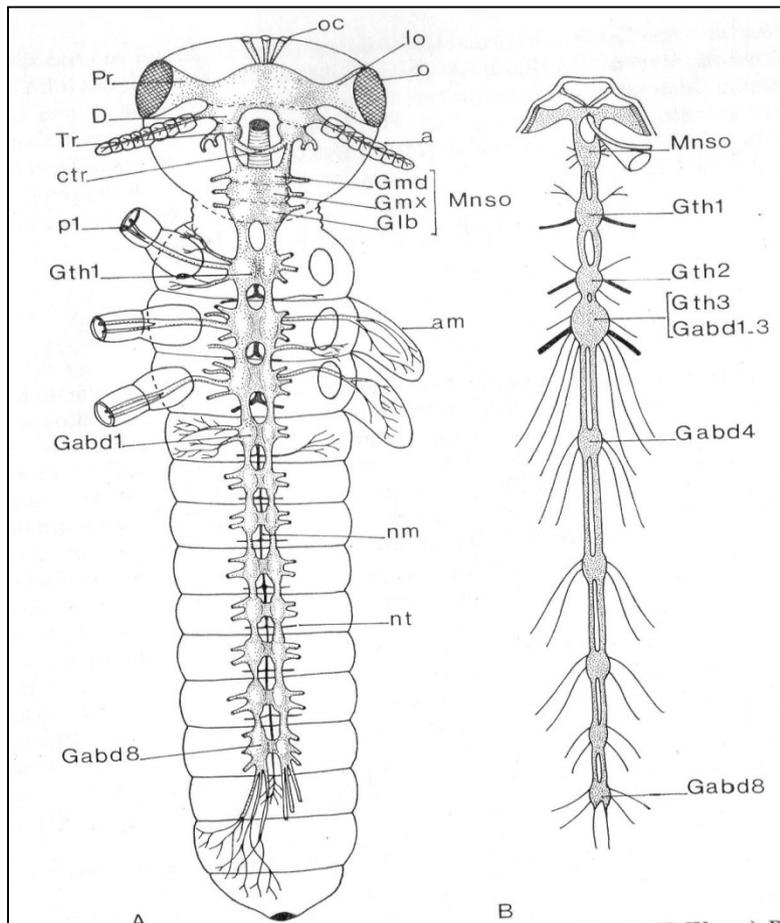
1-a/Le protocérébron :

Est le plus volumineux et le plus complexe, il reçoit les nerfs des organes visuels (yeux composés et ocelles), lobes optiques, corps central, pont protocérébral, corps pédonculé, sa partie médiane est antérieure ou pars intercérébrale assure un rôle importants dans physiologie de l'insecte.

1-b/Le deutocérébron :

Est composé essentiellement de deux centres antennaires d'où partent des nerfs antennaires mixtes.

1-c/ Le tritocérébron : est de taille réduite ses parties droites et gauche sont reliés par une commissure, le tritocérébron envoie des nerfs vers le labre et des connectifs frontaux au ganglion frontal appartenant au système stomatogastrique. Deux connectifs parœsophagiens relient le cerveau à la chaîne nerveuse ventrale.



a : antenne, am : aile mésothoracique, ctr : commissure tritocérébrale, D : deutocérébron, Gabd 1, Gabd 4 , Gabd 8 : 1^{er}, 4^{ème}, 8^{ème} ganglion abdominal, Glb, Gmd, Gmx : ganglion labial, mandibulaire , maxillaire, Gth 1 , Gth2, Gth3 : ganglions pro-mésométathoraciques, lo : lobe optique, MnSo : masse nerveuse sous-oesophagienne, nm : nerf médian, nt : nerf transverse, o : œil composé, oc : ocelle, p1 : patte prothoracique, Pr : protocérébron, Tr : Tritocérébron.

Figure 7. A : Organisation fondamentale du système nerveux, B : système nerveux de *Dissostier carolina* .

La masse nerveuse sous œsophagienne innerve les organes sensoriels et les muscles des pièces buccales, les glandes salivaires, les récepteurs et les muscle du cou.

2-Structure : Le cerveau et la chaîne nerveuse ventrale sont entourés par une couche extracellulaire nommé *lamelle neurale*, cette lamelle est formée de fibre voisine du collagène, l'une des rôles de la lamelle neurale serait mécanique, maintien la cohésion et la forme du système nerveux. Elle est élaborée au moins partiellement par *prineurium* sous jacents. Les cellules périneurales sont considérées comme cellules gliales. Les cellules nerveuses d'insectes peuvent être classées en quatre catégories (fig. 8) :

1-A/ neurones sensoriels ou afférents

Dont les péricaryones sont situés à la périphérie de l'organisme. Ces neurones sont généralement bipolaires leurs dendrite est associé à une structure sensorielle où s'effectue la transduction, l'axone entre d'un ganglion et s'y termine en arborisations. Des neurones sensoriels multipolaires, ont leurs péricaryones sur la surface interne du tégument, sur la paroi intestinal, leur axone se dirige vers le système nerveux central.

2-B/ neurone moteurs ou efférents :

Leurs péricaryones localisés sous le périneurium constituent la couche corticale du ganglion les neurones moteurs sont unipolaires, un tronc commun à l'axone et à une collatérale part du péricaryone. L'axone quitte le système nerveux central tandis que la collatérale se dirige vers le centre du ganglion, ces neurones agissent sur les muscles

3-C/ neurone d'association ou interneurones :

Contrairement aux autres neurones, les neurones d'association sont entièrement inclus dans le système nerveux central. Certains sont segmentaires, établissant des synapses dans un seul ganglion ; d'autres sont intersegmentaires, avec des ramifications dendritiques.

4-D/ cellules neurosécrétrices :

Elles ont acquis une fonction sécrétrice ; leurs produits de neurosécrétion élaborés dans le péricaryones, cheminent le long de l'axone et sont ainsi transportés généralement jusqu'à un organe neurohémal.

3- Région cérébrales particulières :

a/ Les lobes optiques : L'une des parties les plus complexes du cerveau consistent de 3 masses neuropiliaires ou zones synaptiques qui sont de la périphérie vers l'intérieur : la lamina gonglionnaire, la médulla externe, et la médulla interne

b/ Les corps pédonculés : Sont l'une de régions cérébrales qui a été le plus analysés, cent chez les Hyménoptères sociaux les corps pédonculé se présentent comme un pédoncule divisé en lobe α et lobe β , ces corps sont donc considérés comme recevant les informations sensorielles les plus complexes et comme le siège de leur traduction en model comportementaux

c/ Le corps central : Centre d'association à des connexions avec diverses régions cérébrales, il envoie des fibres pré motrices vers la chaîne nerveuse ventrale

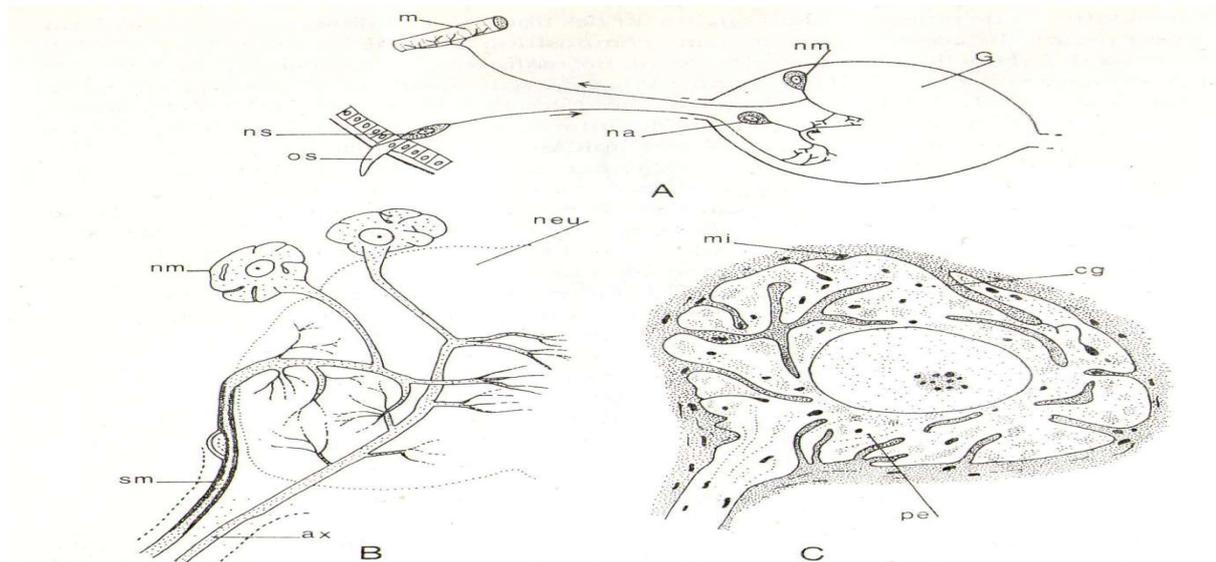


Figure 8 : Schéma d'un arc réflexe ; les flèches indiquant le sens de l'influx nerveux, B et C : neurones moteurs du ganglion thoracique de *Rhodnius* ax : axone, cg : cytoplasme d'une cellule gliale, G : ganglion, m : muscle, mi : mitochondrie, na : neurone d'association, neu : neuropile, nm : neurone moteur, ns : neurone sensoriel, os : organe sensoriel, pe : péricaryone d'un neurone moteur, sm : segment myelinisé

II - Le système nerveux sympathique : encore dit **viscéral**, est étroitement uni au système nerveux central. Il comporte :

- une partie dorsale innervant le vaisseau cardiaque, l'intestin antérieur et moyen,
- une partie ventrale pour l'intestin postérieur et les organes reproducteurs.

Le système dorsal est lié à des glandes endocrines situées en arrière du cerveau : les Corpora allata et les Corpora cardiaca. Le ganglion frontal et les nerfs récurrents font partie de ce système dorsal ou **stomatogastrique**. Le système sympathique formé par un nerf médian qui sort de la région postérieure de chaque ganglion et bifurque en deux nerfs transverses qui innervent les stigmates du segment correspondant

III- Aspect physiologique :

L'énergie reçue par les cellules sensorielles lors de leur stimulation est transformée en énergie électrique, et aboutit ainsi à la production d'un influx nerveux qui se propage le long des axones afférents jusqu'au système nerveux central, cet influx, à travers les synapses, se poursuit soit directement soit par l'intermédiaire de neurones d'association dans les neurones moteurs jusqu'aux organes effecteurs.

- **Le potentiel de repos :** résultant d'un équilibre dans lequel l'intérieur de l'axone est chargé négativement par rapport à l'extérieur à une valeur de 70 Mv.
- **Le potentiel d'action :** qui traduit un changement de perméabilité est une dépolarisation momentanée se propageant le long de l'axone.

CHAPITRE IV

LES ORGANES SENSORIELS

I. Généralités

Les organes sensoriels ont pour fonction de traduire des stimulus physiques en impulsions nerveuses. Ils comprennent une ou plusieurs cellules sensorielles associées le plus souvent à une structure spécialisée pour recevoir les stimuli. Chez les insectes les cellules sensorielles sont des cellules épidermiques modifiées. Ces cellules ou neurones sensoriels peuvent être multipolaires, leurs nombreuses dendrites innervant l'épiderme, les muscles somatiques ou viscéraux, tandis que leur axone se dirige vers le système nerveux central.

II. Les Mécanorécepteurs

L'exosquelette des arthropodes par sa rigidité offre de remarquables possibilités pour le développement de mécanorécepteurs.

Les mécanorécepteurs peuvent correspondre à des structures cuticulaires simples: soies, dômes isolés ou groupés en plaques. Ils peuvent être des récepteurs internes mais reliés à la cuticule, ils forment alors souvent des organes complexes : organes de Johnston, organes tympaniques, des organes de tension avec un élément conjonctif ou un muscle spécial existent également chez les insectes.

II.1 Sensilles trichoïdes

La sensille trichoïde ou poil tactile représente le type le plus simple de sensilles; une soie relié au tégument par une membrane articulaires recevant et transmettant le stimulus (fig. 9), et associée à une cellule sensorielle et à deux ou trois cellules auxiliaires (fig.10). Une **cellule trichogène** particulièrement grande et vacuolisée produit la soie. Une **cellule tormogène** sécrète la membrane d'articulation ; Une cellule sensorielle envoie proximale un axone qui traverse la membrane basale de l'épiderme, rejoint d'autres fibres nerveuses et se dirige vers le système nerveux central.

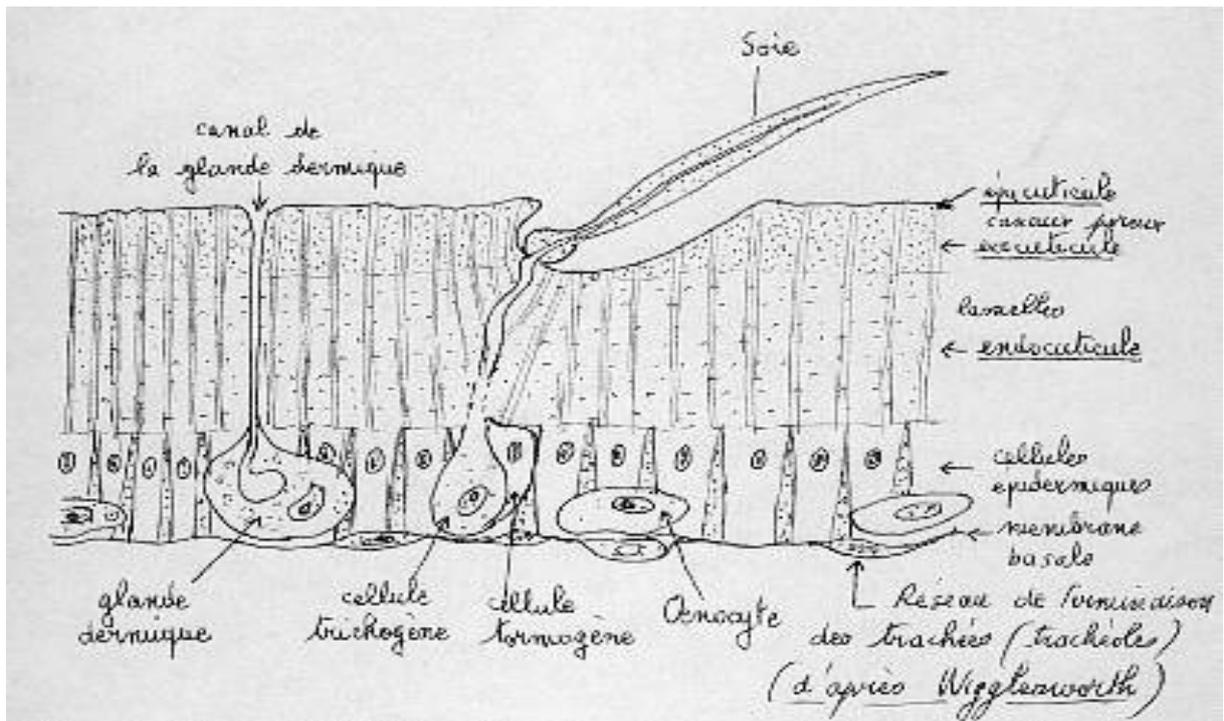


Figure 9 : Anatomie de la cuticule avec une sensille trichoïdes articulée.

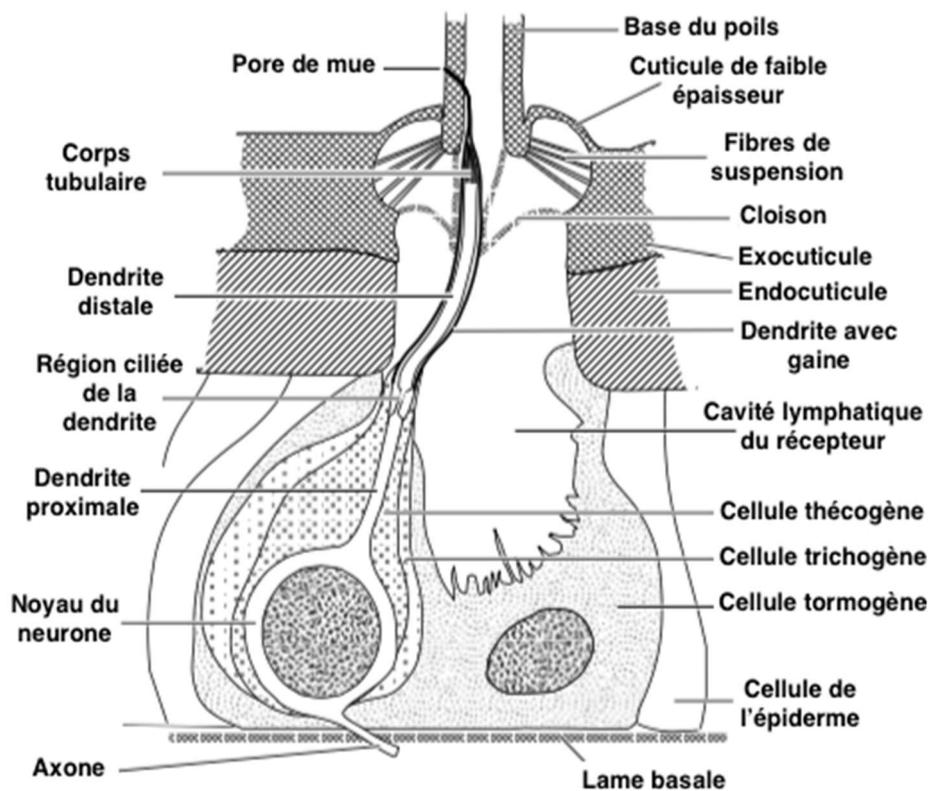


Figure 10 : Anatomie d'une sensille trichoïde

Les mécanorécepteurs manifestent de différentes modalités ; dans un grand nombre de cas la réponse est Phasique ; un potentiel ne se développe que lors du mouvement de la soie, lors de sa courbure, ou de son redressement. D'autres soies ont une réponse tonique, créant un potentiel d'action pendant toute la durée du stimulus. Les sensilles trichoides sont très largement distribuées sur tous le corps. Le sens tactile est assuré par des soies en contact avec le substrat: antenne, tarse.

a/ Les sensilles sont de type phasique : Les stimuli tactiles sont recueilli pour l'appréciation du milieu, l'orientation spatiale, l'examen de la nourriture ces sensille peuvent répondre également aux vibrations transmises par le substrat ou par l'air.

* Les sensilles des cerques d'Orthoptères ont une sensibilité optimale d'un peu mois de 100 Hz. Elles sont donc peut apte à la réception des signaux sonores de haute fréquence

* Les soies des cerques des blattes peuvent participer a la perception des chants de stridulations ces soies répondent également aux bouffées d'air et sont responsables des mouvements rapides de fuite de l'insecte

b/ Les sensilles trichoides toniques:

Situées sur l'aile, la région faciale de la tête fournissant des informations sur les mouvements de l'air ou de l'eau par rapport au corps. Chez *Schistocerca*, *Locusta*, des soies sont réparties selon leur sensibilité directionnelle en cinq groupes de chaque coté du front et du vertex. Elles permettent à l'insecte de s'orienter par rapport au vent lorsqu'il est au sol, de contrôler la direction de son vol.

II-2. Sensille campaniforme :

La structure des sensilles campaniformes est tout à fait comparable à celle des sensilles trichoïde: sensilles associée à trois cellules accessoires qui délimitent un espace extracellulaire, structure ciliaire et scolops dans la dendrite; un dôme cuticulaire remplace la soie, (fig. 11) le dôme circulaire ou ovale est formé d'une endocuticule assez épaisse et d'une exocuticule très mince. Le scolops qui enveloppe l'extrémité de la dendrite se termine dans un canal creusé dans le dôme.

La sensille campaniforme contrairement au poil tactile, est emboîtée de façon rigide dans le tégument elle répond aux pressions qui s'exercent sur la cuticule. Les sensilles

campaniformes sont nombreuses sur les pattes, chez les blattes 70 sensilles sont réparties en trois groupes ventraux et un groupe dorsal sur le trochanter. Elle enregistre les tensions produites par le poids du corps sur les pattes,

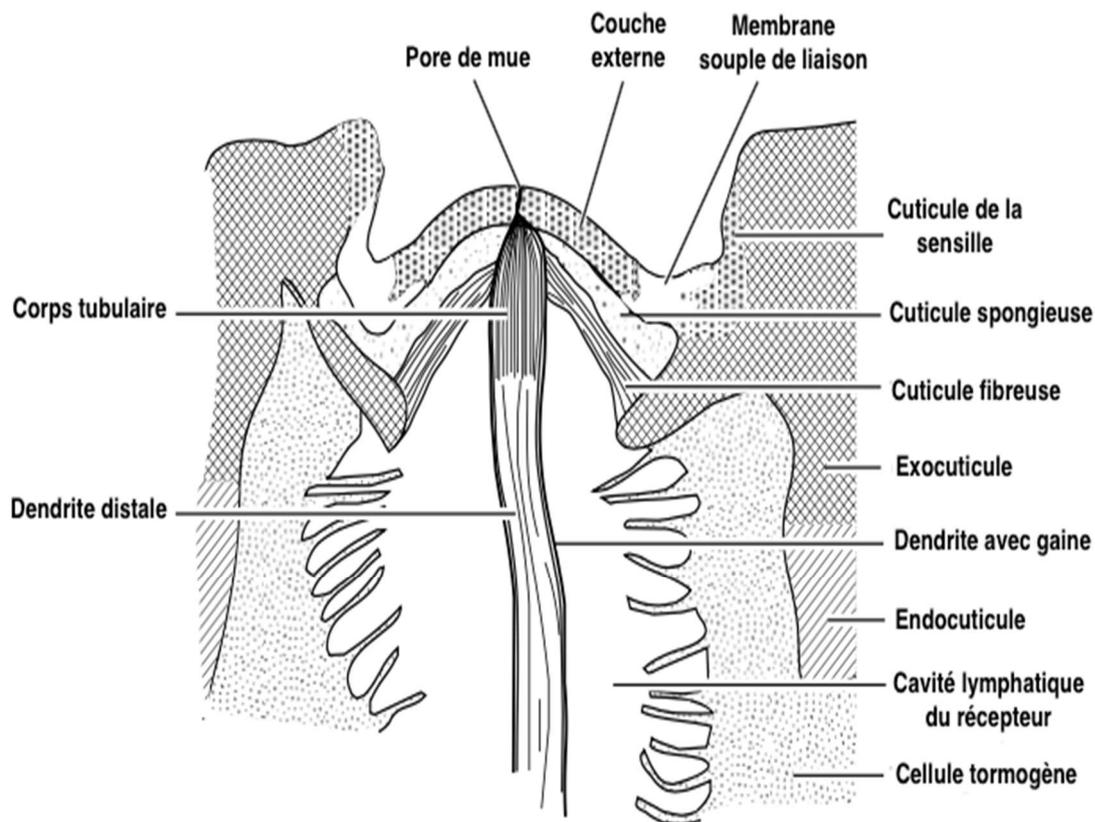


Figure 11 : Coupe transversale d'une sensille campaniforme

II- 3. Scolopidies et organes chordotonaux

Les organes chordotonaux, ou scolopophores, sont des récepteurs intradermiques agissant le plus souvent comme des propriocepteurs (perception de la position des différentes parties du corps) ou intervenant dans l'audition. Ils sont constitués d'éléments simples appelés scolopidies, attachés de leurs extrémités à la cuticule par une ou plusieurs cellules; Ils peuvent être solitaires ou regroupés en amas.

Chaque scolopidie est composée de 3 cellules :

- ⊙ un **neurone sensoriel**
- ⊙ une **cellule enveloppante** (cellule scolopale)
- ⊙ une **cellule d'attache**

La dendrite du neurone sensoriel, recouverte par la cellule enveloppante, possède à son extrémité une extension ciliaire insérée à la cellule d'attache par un **corps tubulaire**. La région ciliaire, située dans un espace extracellulaire. Un second espace extracellulaire, rencontré à la base du manchon, est appelé « collier ciliaire » en raison de son agencement à l'intérieur de la dendrite neuronale, une structure composée de 9 filaments doubles partant de la base de la région ciliaire, court jusqu'à sa partie proximale: la **racine ciliaire**.

Dans la plupart des cas, une seule dendrite s'insère dans le manchon ciliaire. Parfois, dans certaines scolopidies, plusieurs dendrites (jusqu'à 5) se réunissent dans le manchon ciliaire. La cellule d'attache joue le rôle de lien entre l'organe chordotonal et l'épiderme ou d'autres types de tissus. Les scolopidies sont présentes dans toutes les parties du corps: pattes, antennes, palpes, bases des ailes. Elles se groupent en organes chordotonaux. Certains de ceux-ci ne comprennent que quelques éléments (une à cinq scolopidies). Mais d'autres peuvent atteindre une grande complexité : organe de Johnston, organes tympaniques

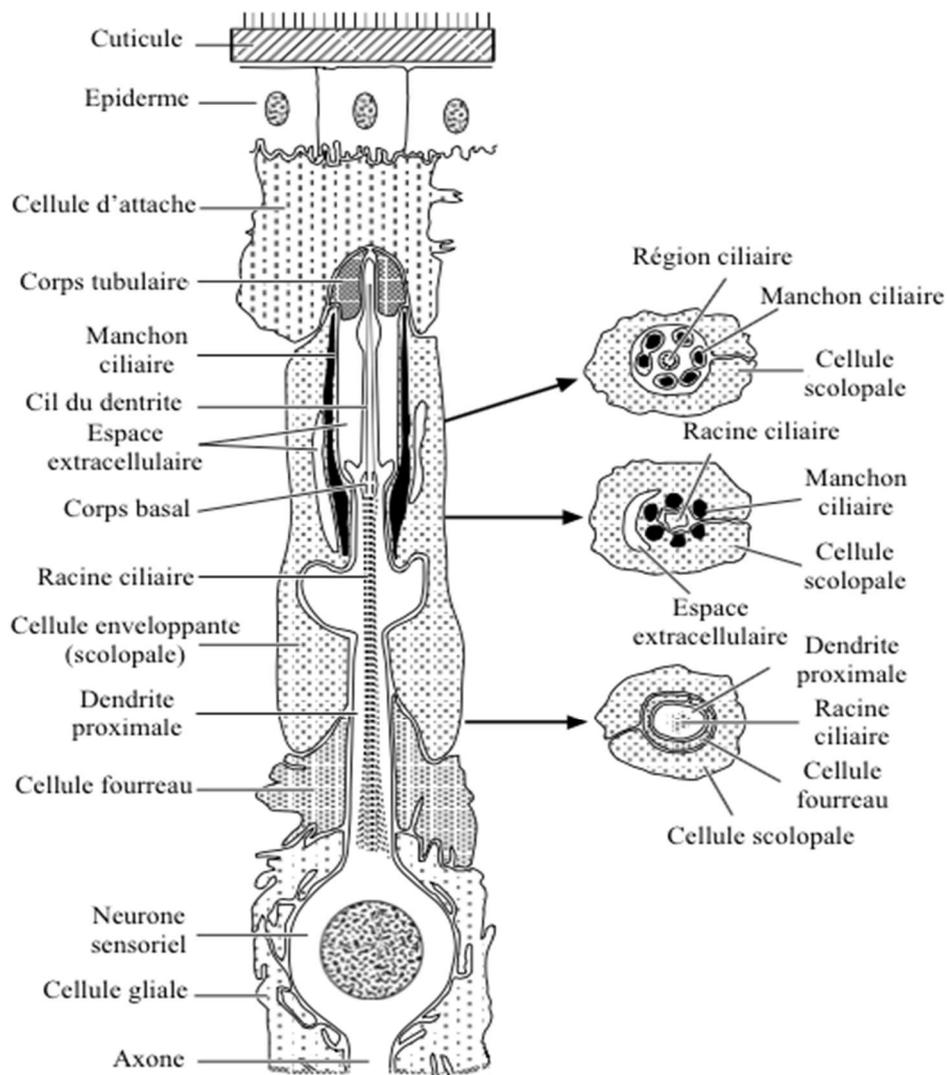


Figure 12 : Structure basique d'un organe chordotonal

II. 3. 1- Distribution et fonction chez les insectes

Les organes chordotonaux sont présents sur tout le corps des insectes. Leur fonction est multiple : proprioception – détection de vibration du substrat, de l'air et de l'eau – détection de la gravité – audition. Par exemple, certains de ces organes se trouvant dans la chambre génitale ont pour rôle de détecter la pression exercée par l'arrivée des ovocytes. Leur stimulation déclenche des mécanismes musculaires spécifiques permettant le reflux des spermatozoïdes de la spermatique pour réaliser la fécondation. D'autres, situés dans le thorax, sont de grande taille (20 scolopidies) et interviennent dans le contrôle du mouvement de la tête par rapport au thorax. A la base des ailes, ces organes sont stimulés par les forces exercées durant le vol

Dans une patte d'insecte, 4 types d'organes chordotonaux, voir davantage, peuvent être présents :

- ⊙ un fixé au fémur (chez les Orthoptères) dans sa partie distale, constitué d'environ 300 scolopidies
- ⊙ un fixé au tibia de manière proximale : c'est l'**organe subgénéral**
- ⊙ un dans le tissu conjonctif du tibia, inséré dans l'articulation tibia-tarsienne
- ⊙ un de petite taille (3 scolopidies) dans l'articulation du tarse aux prétarses
- ⊙ Des organes chordotonaux particuliers se situent dans les pédoncules des antennes de tous les insectes : les **organes de Johnston**.

II-3-2. Types d'organes chordotonaux

II-3-2-1. Organes fémoraux : Il semble que tous les insectes possèdent des organes chordotonaux au niveau de l'articulation fémoraux-tibiale (fig.13), Cet organe a pour rôle de renseigner l'insecte sur l'accélération, la vitesse et la position du tibia par rapport au fémur lors d'un saut ou de la marche. D'autres organes interviennent également dans le contrôle des mouvements : **sensilles simples** et **sensilles campaniformes**

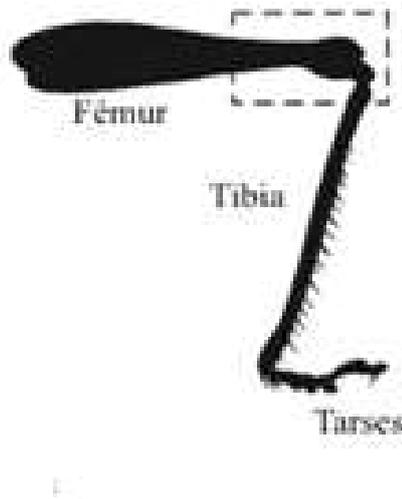


Figure 13 : Organe chordotonal fémoro-tibial

II- 3-2-2. Organes subgénéaux :

Ces organes, situés dans les parties proximales des tibias (fig. 14), sont en général composés de 10 à 40 scolopidies, parfois beaucoup plus, jusqu'à 400 chez certaines guêpes parasitoïdes. Sensibles aux vibrations du substrat, ils jouent ainsi un rôle soit dans la détection de l'arrivée d'un prédateur, soit dans la communication intra-spécifique (recherche de partenaires sexuels ou agrégation).

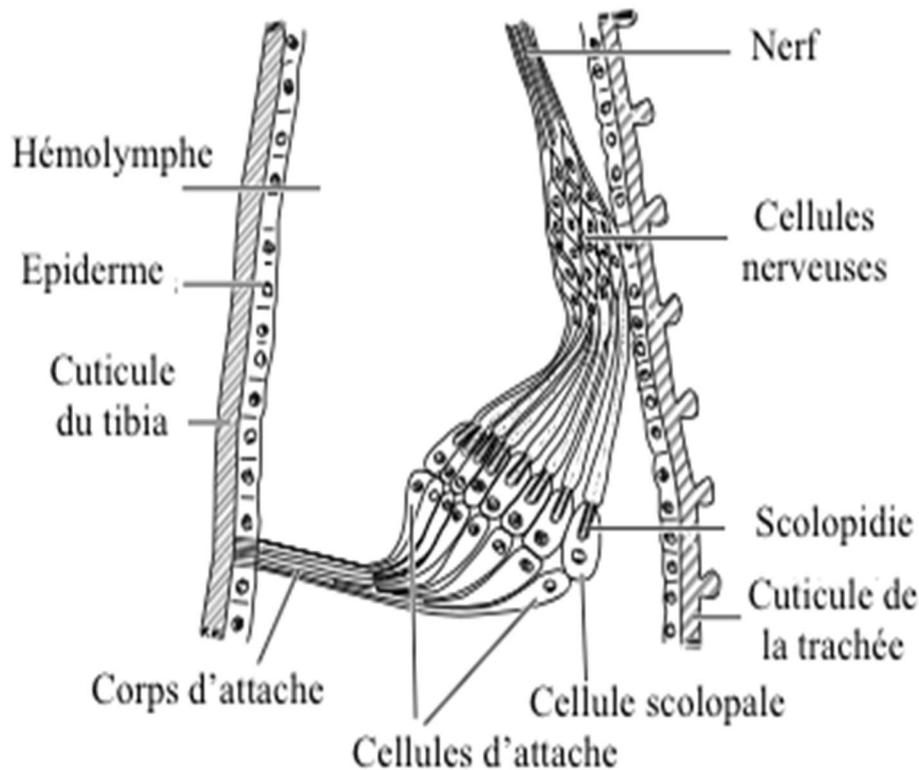


Figure 14: Organe subgénéal chez une fourmi

II- 3-2-3. Organes de Johnston :

Ces organes, situés dans le pédoncule antennaire de tous les insectes adultes (fig. 15) ou sous forme plus simplifiée chez les larves, présentent la caractéristique d'être constitués d'un flagelle qui est incorporé à un pédicelle dont la base comprend de très nombreux scolopidies. Ces organes sont notamment bien développés chez les mouches (Diptères), pouvant ainsi contenir plus de 20 000 scolopides. Les organes de Johnston peuvent assurer plusieurs rôles :

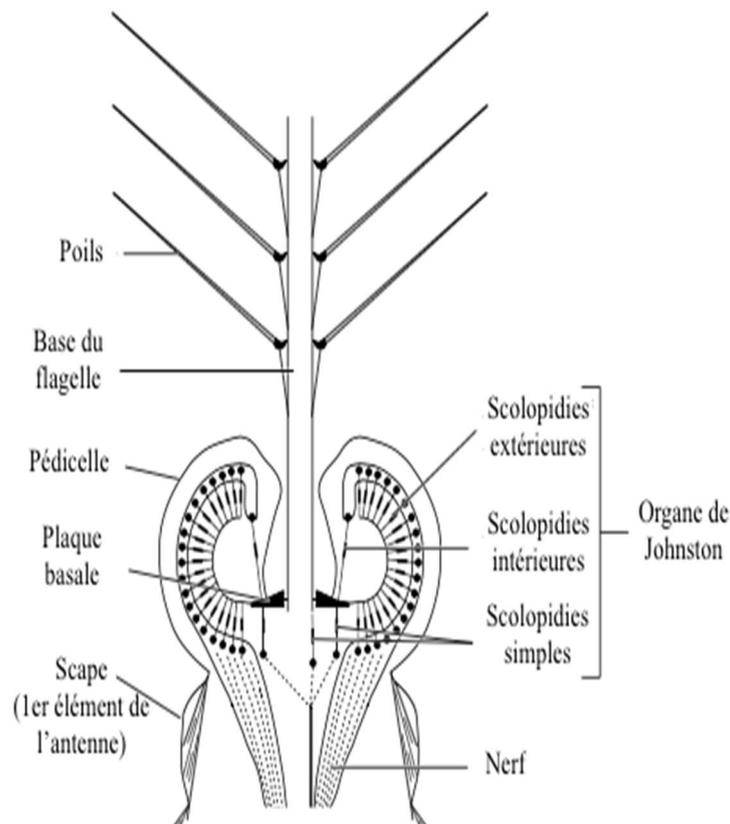


Figure 15 : Organe de Johnston chez un moustique mâle

- ⊙ Indicateur de vitesse : lorsque l'insecte vole, la pression de l'air agit sur les antennes et les flagelles. La vitesse est ainsi déterminée par le nombre de scolopidies stimulées.
- ⊙ Recherche de partenaires sexuels : chez la drosophile par exemple, les vibrations de l'air émises par les ailes du mâle lors de la parade sexuelle sont détectées par les organes de Johnston de la femelle. La sensibilité des scolopidies est alors réglée sur la fréquence de vibration du mâle : c'est un mécanisme de reconnaissance de l'espèce. Ce même principe s'applique chez le moustique qui repère ses partenaires sexuels par les vibrations émises durant le vol.
- ⊙ Communication entre individus : pour informer sur une source de nourriture, les abeilles réalisent une danse indiquant les paramètres de vol pour l'atteindre. Les vibrations sonores émises par l'abeille sont détectées par ses congénères et analysées dans leur fréquence comme dans leur intensité.

- ⊙ Navigation aquatique : les coléoptères de la famille des Girinidae se déplacent à la surface de l'eau. Les organes de Johnston, en détectant les ondulations émises par leurs congénères, permettent d'éviter les collisions. Ces insectes utilisent également leurs propres vibrations sur le même principe que celui de l'écholocation des chauves-souris pour éviter les obstacles.
- ⊙ Détection de la gravité : le notonecte, une punaise (Hémiptères) qui vit dans l'eau, le plus souvent postée à l'envers sous la surface, s'oriente grâce à la présence d'une bulle d'air prisonnière entre sa tête et ses antennes. Lorsque l'insecte est dans sa position normale, c'est à dire à l'envers, la bulle d'air remonte vers la surface, poussant les antennes vers le haut de la tête. La détermination de l'angle des antennes par rapport à la tête renseigne l'insecte sur sa position dans l'espace.

II- 3-2-4. Organes tympaniques

L'organe tympanique est un organe chordotonal spécialisé dans la réception de vibration sonore (fig. 16), il correspond à l'organe de l'audition. L'emplacement sur le corps de ces organes est très variable selon les familles et les espèces. Ils se rencontrent sur le cou de certains Coléoptères, sur la paire de pattes antérieures chez les grillons et les sauterelles de la famille des Tettigoniidae, sur l'abdomen chez les cigales (Cicadidae), les papillons de la famille des Geometridae et les cicindelles (Coléoptères de la famille des Cicindellidae) ou encore sur le thorax de certaines punaises aquatiques et des mantes-religieuses (Mantodea).

4-1. Aspect structurel : c'est une zone de la cuticule de faible épaisseur (le tympan ou membrane tympanique), soutenue par un sac rempli d'air (ou en contact avec une trachée) et libre de vibrer. Sur la face interne du tympan sont fixées des centaines de scolopidies qui s'activent lorsque le tympan se met à vibrer.

4-2. Fonctionnement :

Une onde sonore qui entre en contact avec le tympan le fait vibrer. Cette vibration agit sur les scolopidies, qui, selon l'amplitude et l'intensité du son, seront plus ou moins stimulés, engendrant une réponse nerveuse spécifique proportionnelle.

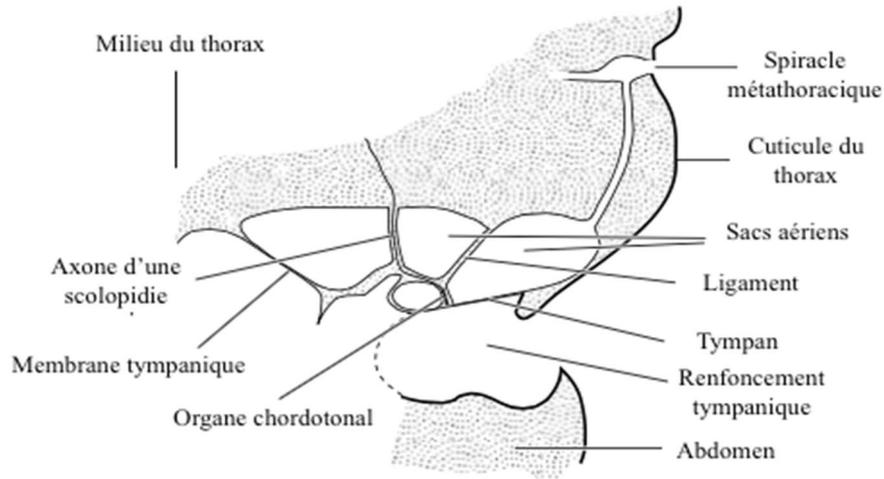


Figure 16 : Organe tympanique de la noctuelle

Tableau I : Catégories des mécanorécepteurs chez les insectes

<u>Catégories</u>	<u>Position anatomique</u>	<u>Types</u>	<u>Fonctions</u>
<u>Extérorécepteurs</u> Récepteurs cuticulaires	Surface de la cuticule	Sensilles simples	Toucher, variation de pression (air ou eau), détection de la gravité, proprioception*
		Sensilles campaniformes	Variation de pression sur la cuticule
<u>Intérorécepteurs</u> Récepteurs intradermiques ou subcuticulaires	Derme	Organes chordotonaux	Variation de pression (air, eau), détection de la gravité, proprioception*
<u>Propriorécepteurs</u>	Tissus internes	Pas de structure précise	Proprioception*

* *Proprioception* : perception de la position des différentes parties du corps

III. Les chimiorécepteurs:

La perception des odeurs intervient dans le comportement alimentaire, le choix de l'habitat ou des sites d'oviposition, dans les relations hôtes- parasites, dans la vie sociale. Chez les chimiorécepteurs on distingue les trois catégories suivantes:

- Un sens chimique général, impliqué dans les réactions de fuite vis à vis de forte concentrations de substances telle que l'ammoniaque, le chlore.
- Une chimioréception de contact ou sens gustatif: les stimuli chimiques agissant en solution en concentrations relativement élevées
- Une chimioréception à distance ou sens olfactif : les stimuli diffusent à travers l'air est les récepteurs sont sensibles à des très faibles quantités de produits

III-1. Structure des récepteurs:

Les antennes sont particulièrement riches en chimiorécepteurs. Ceux-ci sont également nombreux sur les pièces buccales et sur des structures associées à la prise des aliments, sur les pattes, sur l'ovipositeur. Les partie cuticulaires des chimiorécepteurs sont de forme très diverses. On distingue les types suivants:

Sensilla trichoïdea: dont l'allure comparable aux sensilles trichoïdes mécanoréceptrices

Sensilla basiconica: en forme de cheville ou de cône émoussé

Sensilla coelonica et ampullacea: dont la structure cuticulaire se trouve cachée dans une dépression plus au moins profondes du tégument.

Sensilla placodea: plaque poreuse sous la quelle se trouvent les cellules sensoriels et les cellules auxiliaires

Le sens olfactif des insectes se situe au moins pour la majeure partie au niveau des antennes qui possèdent les récepteurs adéquats. L'antenne des insectes peut être considérée comme un filtre à odeurs. La forme de l'antenne dépend de la qualité de l'habitat de l'insecte, les sensilles sont localisées de façon à être exposées au maximum de courants d'air.

IV. Les phéromones:

Les phéromones sont des substances sécrétées à l'extérieur par un animal et qui reçu par un autre individu de la même espèce, provoquent chez ce dernier une réaction spécifique. Les phéromones sont habituellement produites:

- par des cellules épidermiques modifiées chez *Schistocerca gregaria*
- Par des glandes à structure complexe peuvent être localisées dans une région précise du corps: les glandes de Nassanoff chez les ouvrières d'abeille appartiennent au 6^{ème} tergite abdominal.
- Chez les femelles des Lépidoptères les glandes qui produisent les phéromones sexuelles sont formées des cellules dans une zone intersegmentaire
- Selon leur mode d'action en distingue parmi les phéromones les deux catégories suivantes:

IV-1. Les phéromones modificatrices: entraînent des modifications physiologiques, à long terme, des insectes récepteurs. Ces phéromones sont connues surtout chez les insectes sociaux, elles interviennent dans la détermination des castes, le blocage ovarien des ouvrières.

IV-2. Les phéromones de déclenchement: Produisent une réaction instantanée et réversible

IV-2-1. Les phéromones de piste:

Chez les insectes sociaux, Hyménoptères et Isoptères, le chemin entre la source de nourriture et le nid est marqué par dépôts de gouttelettes de substance.

IV-2-2. Phéromones d'agrégation:

Les agrégations peuvent être temporaires: rassemblements sur les places d'hivernage ou d'estivation (Coccinellidae), sur les lieux de pontes (*Schistocerca*), rassemblements des Scolytidae lors de l'attaque massive d'un arbre.

IV-2-3. Phéromones d'alarme :

Elle déclenche un comportement de défense ou d'attaque chez les Hyménoptères, les phéromones produites par les glandes mandibulaires ou par la glande à poison sont généralement de cétones ou des aldéhydes.

IV-2-4. Phéromones sexuelles: elles sont généralement produites par l'un des sexes seulement et agissant sur le sexe opposé. Elles sont répandues chez les Lépidoptères, les Dictyoptères, les Coléoptères et les Hyménoptères. Les attractif sexuels sont le plus souvent secrétés par les femelles, ils permettent la rencontre des sexes

V. Les yeux et la vision

1/ Les ocelles dorsaux: Les ocelles dorsaux existent en même temps que les yeux composés chez les imagos et les larves d'Hétérométaboles, ils peuvent manquer chez certaines espèces

2/ Les stemmates ou ocelles latéraux : sont les organes visuels chez les larves Holométaboles. Ils sont situés latéralement sur la tête dans une position voisine de celle qu'occuperont les yeux composés imaginaux.

3/ Les yeux composés: présents chez la plupart des imagos ainsi que chez les larves d'Hétérométaboles, occupe une aire plus au moins vaste de chaque côté de la tête si bien qu'il assurent à l'insecte une large champ de vision , ils se composent d'un nombre plus au moins grands d'unités , les ommatidies. Les yeux de libellules comprennent plus de 10000 ommatidies. Le nombre des ommatidies est généralement en relation avec le mode de vie de l'insecte, il est nettement plus élevé chez les espèces dont le vol est rapide, souvent plus important chez les mâles.

CHAPITRE V

LE SYSTÈME ENDOCRINE

Le système endocrine des insectes comprend des cellules neurosécrétrices au sein du système nerveux central, organes neurohémaux (Corpora cardiaca, organes périsympathiques), des glandes endocrines épithéliales : corpora allata et glande de mue et certains tissus comme le tissu prothoracique (fig. 17).

I/ Cellules neurosécrétrices et les neurohormones

I- A. Cellules neurosécrétrices cérébrales et corpora cardiaca :

Les cellules neurosécrétrices sont des neurones unipolaires qui présentent en outre des caractères cytologiques de cellules glandulaires. Elles peuvent être reconnues grâce à certaines techniques histologiques (coloration) et au niveau ultra structural par la présence de granules neurosécréteurs qui apparaissent comme des vésicules de 1000 à 3000 Å de diamètre. Les neurosécrétions sont élaborées dans le péricaryone au niveau du réticulum endoplasmique granulaire et sont ensuite condensés en granules par l'appareil de Golgi. Ceux-ci sont transportés le long de l'axone, s'accumulent aux extrémités renflées des nombreuses ramifications axonales (fig. 18). Les axones traversent le cerveau et une partie d'entre eux s'entrecroisent et constituent les nerfs cardiaques qui traversent les corpora cardiaca pour se terminer dans le corpora allata. Les corpora cardiaca représentent un lieu de stockage, et ils renferment aussi les terminaisons des axones neurosécréteurs provenant du cerveau.

I-B. Cellules neurosécrétrices de la chaîne nerveuse ventrale et organes périsympathiques :

Des cellules neurosécrétrices se répartissent tout le long de la chaîne nerveuse ventrale. Le ganglion sous œsophagien contient d'assez nombreux neurones sécréteurs, les ganglions thoraciques et abdominaux ont également leurs propres cellules neurosécrétrices dont la localisation a été précisée pour certaines espèces. Les axones des cellules neurosécrétrices cheminent le long des nerfs sympathiques (médian et transverse) pour se terminer dans de petits organes neurohémaux ou organes périsympathiques qui apparaissent comme de légers épaissements sur le trajet des nerfs médians ou transverses issus des différents ganglions,

les organes péricardiques peuvent s'associer étroitement aux nerfs somatiques afin de permettre une libération efficace des neurohormones dans l'hémolymphe, les axones neurosécréteurs se ramifient abondamment dans l'organe neurohémal (fig. 19).

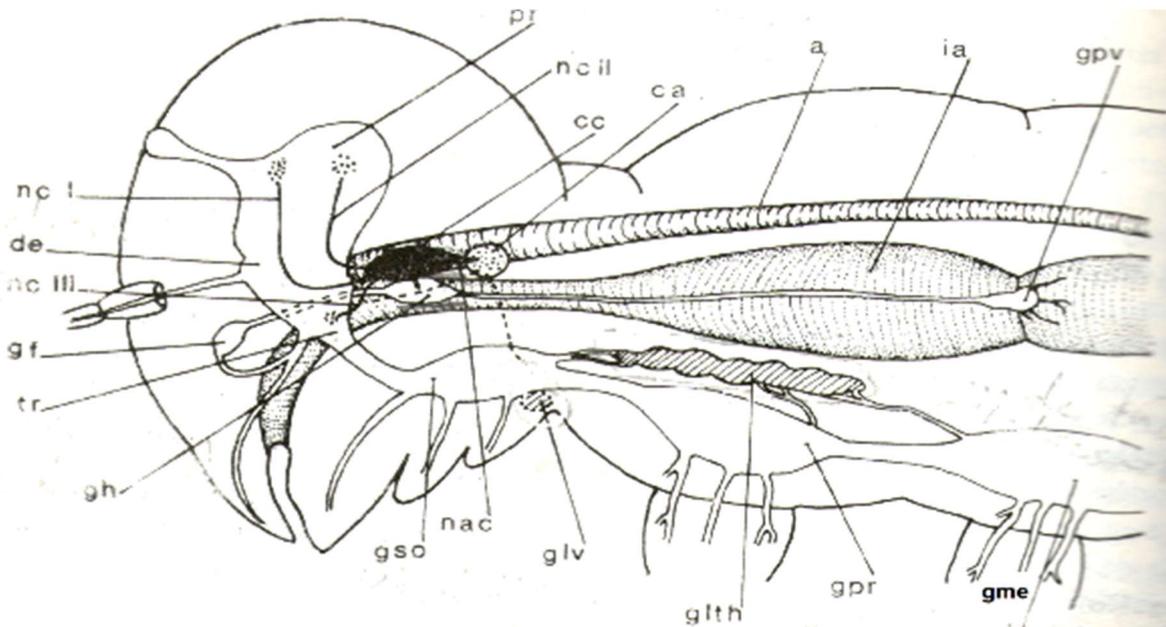


Figure 17 : Système endocrine chez les insectes .(innervation secondaire du corpora allata et indiquée en pointillé . a : aorte, cc : corpora cardiaca , de : deutocérébron, gf : ganglion frontal, gh : ganglion hypocérébral, glth : glande thoracique (glande de mue de divers Hétérométaboles et Holométaboles), glv : glande ventrale (glande de mue des Aptérygotes et de certains Hétérométaboles), gme : ganglion mésothoracique, gpr : ganglion prothoracique, gpv :ganglion proventriculaire, gso : ganglion sous –oesophagien, ia : intestin antérieur, nac : nerf- allatocardiaque, ncI, ncII, ncIII : nerfs cardiaques I, II, III, pr : protocérébron, tr : tritocérébron

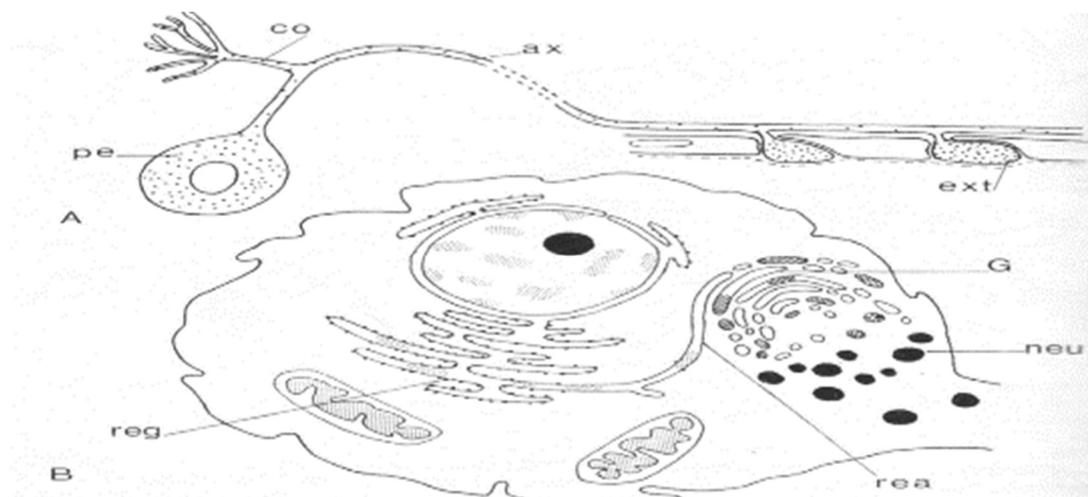


Figure 18 : A/ Cellule neurosécrétrice, B : formation du matériel de nerusécrétion dans le réticulum endoplasmique et dans l'appareil de Golgi, ax : axone, co : collateral, ext : extrémité axonale, G : appareil de Golgi, neu : granule de neurosécrétion, pe : péricaryone, rea : reticulum endoplasmique granulaire.

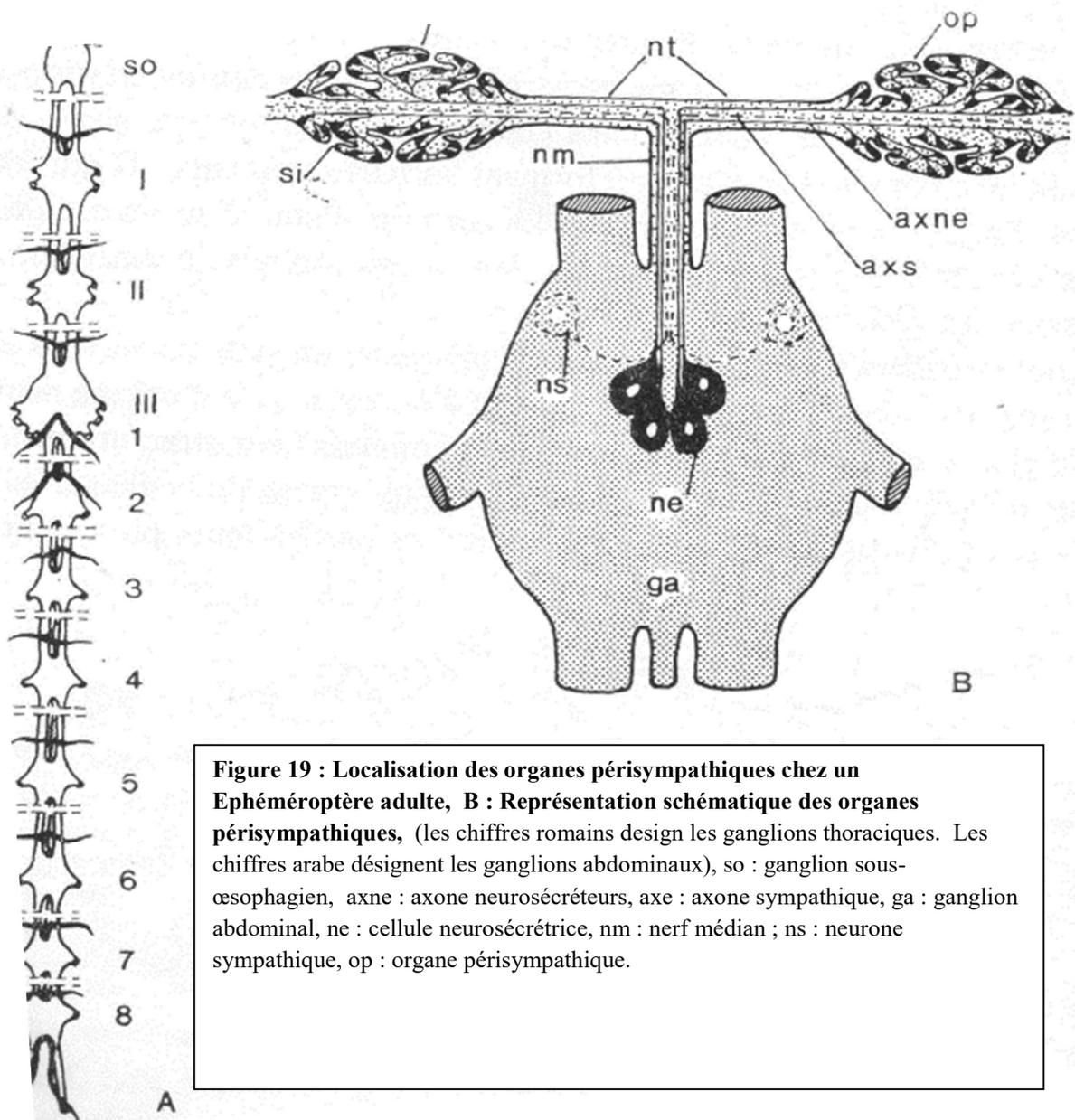


Figure 19 : Localisation des organes péricéphaliques chez un Ephemeroptère adulte, B : Représentation schématique des organes péricéphaliques, (les chiffres romains design les ganglions thoraciques. Les chiffres arabe désignent les ganglions abdominaux), so : ganglion sous-œsophagien, axne : axone neurosécréteurs, axs : axone sympathique, ga : ganglion abdominal, ne : cellule neurosécrétrice, nm : nerf médian ; ns : neurone sympathique, op : organe péricéphalique.

II- Principales neurohormones:

Les neurohormones sont de nature peptidique. La majorité des neurohormones connues affecte la perméabilité membranaire, elles peuvent agir sur le matériel génétique, influençant les synthèses d'ARN ; elles interviennent alors dans les activations enzymatiques qui, à leur tour induisent les activités métaboliques

- **L'hormone thoracotrope:** Sécrété par les cellules neurosécrétrices protocérébrales est stockée dans le corpora cardiaca cet hormone stimule l'arrêt de la diapause est par conséquent entre l'insecte dans une période d'activité.
- **L'hormone de diapause de *Bombyx mori* :** Qui stimule la diapause embryonnaire et présent dans le ganglion sous -œsophagien.
- **Le bursicon ou facteur de tannage :** Sécrété par les cellules neurosécrétrices de la pars intercérébralis et par les ganglions thoraciques contrôle le tannage du puparium chez les Muscidés. Mais ils existent également chez les Blattes, *Tenebrio*.
- **Diverses neurohormones diurétiques et antidiurétiques:** Sont connues chez les insectes; elles agissent sur les cellules des tubes de Malpighi, du rectum et des glandes rectales. L'hormone diurétique de *Locusta migratoria* est produite par un groupe des cellules neurosécrétrices protocérébrales et elle est stockée dans le corpora cardiaca .
- **Les Hormones hyperglycémiques :** Les Hormones hyperglycémiques des Blattes et des Criquets sont de nature peptidique. Chez les Criquets deux facteurs ont été mis en évidence: celui qui est le moins actif est synthétisé au niveau de la pars intercerebralis et stocké dans le corpora cardiaca, le facteur le plus puissant a été extrait des parties glandulaires des corpora cardiaca, leur action est analogue à celle du glucagon chez les Vertébrés. Le facteur tréhalose provoque une augmentation de la concentration des tréhaloses dans l'hémolymphe par scission du glycogène en glucose -1- phosphate.

III. Glande de mue et ecdysones

III- 1. Glande de mue: Les glandes de mues exercent un contrôle sur le déroulement de la mue. Les glandes de mue se reconnaissent par leurs caractères cytologiques, les cellules

faiblement liées entre elles, ont un cytoplasme fortement basophile. Leur activité sécrétrice se déroule selon un cycle synchrone de celui de la mue

III-2. Ecdysone: L'hormone de mue des arthropodes et plus spécialement celle des insectes, les ecdysones sont des stéroïdes particuliers, puisque contrairement aux hormones stéroïdes des vertébrés, ils conservent le squelette carboné complet du cholestérol.

III-2-3. Mode d'action d'ecdysone

- Les ecdysones sont impliquées dans le contrôle de la mue, qu'elle soit larvaire, nymphale ou imaginaire;
- L'ecdysone stimule la synthèse des protéines au moment de la mue (stimule la synthèse d'ARN dans l'épiderme, les disques imaginaires, les glandes salivaires)
- La synthèse de l'un des enzymes indispensable à la sclérotinisation de la cuticule lors de la formation du puparium chez les Diptères (la dopa- décarboxylase est induite par l'ecdysone).

IV. Corpora allata et hormone juvénile

A- Les Corpora allata:

Chez la plupart des insectes les corpora allata acquièrent l'aspect d'un massif compact de cellules semblables, entouré par une fine enveloppe conjonctive (fig.20). Des ramifications trachéennes et nerveuses pénètrent à l'intérieur. Les corpora allata reçoivent une innervation venant du cerveau par l'intermédiaire des corpora cardiaca, ainsi qu'une innervation issue du ganglion sous-œsophagien.

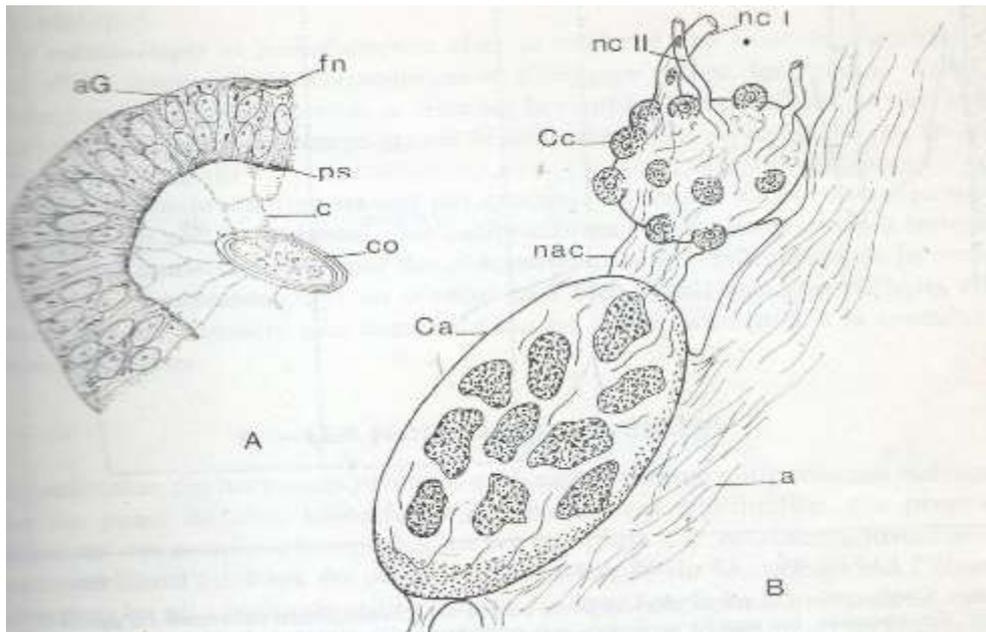


Figure 20 : Corpora allata de *Carausius morosus*, B : corpora allata et copora cardiaca de *Pieris cardium*. a : aorte, aG : appareil de Golgi, c : cavité centrale, Ca : corpus allatum, CC : corpus cardiacum, co : corps central, fn : fibre nerveuse, nac : nerf allato –cardiaque, ps : pôle sécréteur.

B -Hormone juvéniles

Les effets des hormones juvéniles sont de trois sortes :

1/ Effets morphogénétiques:

L'un des rôles essentiels des hormones juvéniles est le maintien des caractères larvaires (fig. 21).

2/ Effets thoracotrope: le maintien des glandes de mue est comme celui des autres tissus larvaires sous la dépendance de l'hormone juvénile. Il exerce une légère activation sur la glande de mue qui se traduit par une stimulation de la synthèse d'ARN.

3/ Effet métabolique et gonadotrope: Chez la majorité des insectes, l'activité des corpora allata augmente la consommation d'oxygène. Chez les imagos femelles, l'hormone a pour fonction de stimuler la synthèse des protéines en particulier celle du vitellogénines par le corps gras et le prélèvement de ces dernières par les ovocytes.

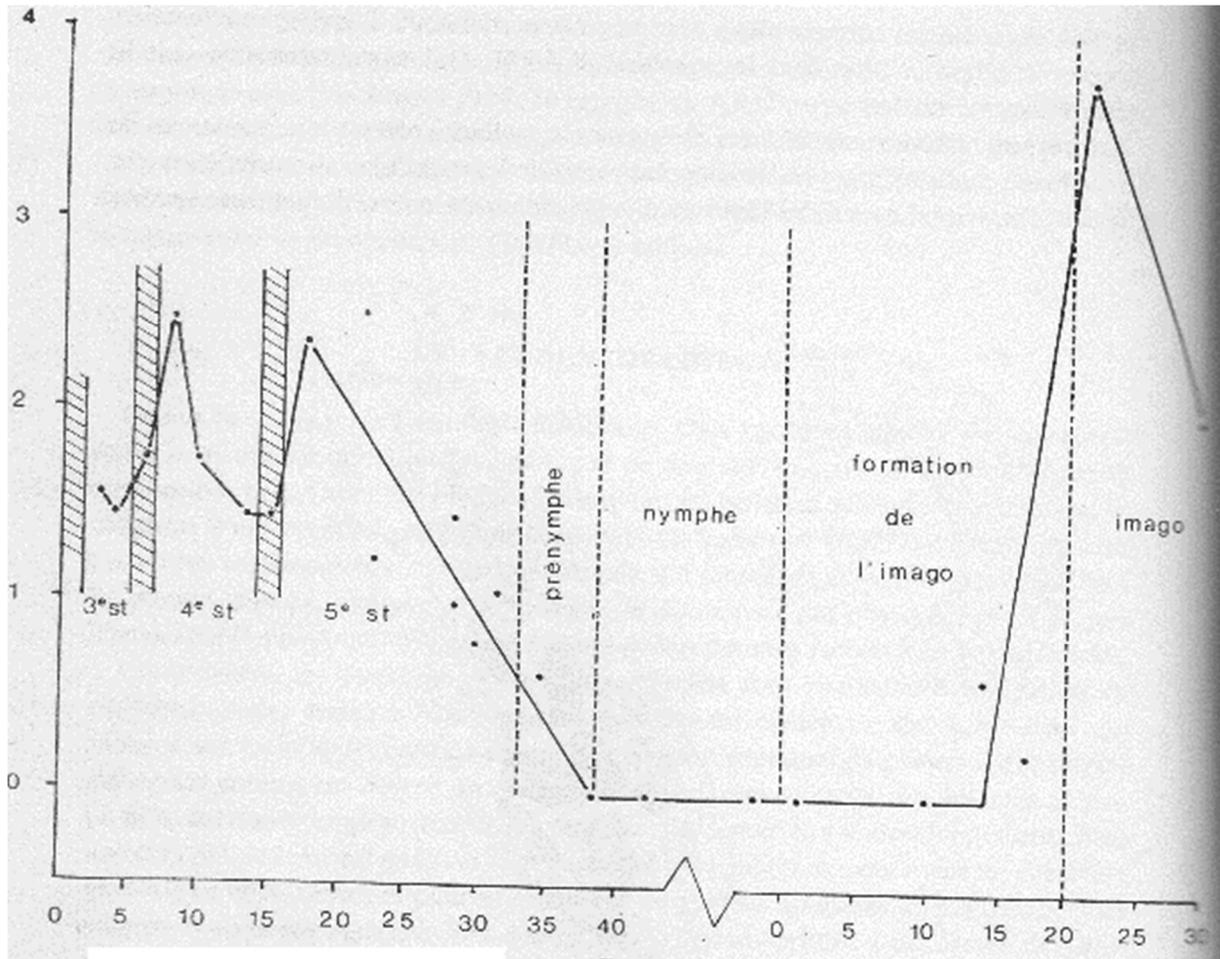


Figure 21 : Courbe d'activité des corpora allata de *Hylophora cecropia* . En abscisse, les temps en jours ; en ordonnée, l'activité des corpora allata en unités arbitraires .

V. La mue

Les insectes sont caractérisés par un squelette externe (exosquelette) inextensible, la cuticule ou carapace. La mue permet à ces animaux, en changeant périodiquement leur cuticule, de grandir en taille (mue de croissance) ou d'acquérir de nouveaux organes, voire de changer de forme (mue de métamorphose). Ainsi, chez beaucoup d'insectes, une ou deux mues particulières permettent la métamorphose des stades larvaires au stade adulte. Le renouvellement de la cuticule est assuré par l'épiderme dont l'activité est alors remarquable .tout un ensemble de processus se déroule selon une programmation précise, sur une durée assez longue ; en effet, l'élaboration de la nouvelle cuticule débute bien avant le rejet de l'ancienne.

V- A. Changements au niveau de l'épiderme :

Une croissance est souvent associée à la mue. Chez les Hétérométaboles et certains Holométaboles, elle est réalisée par une augmentation du nombre de cellules. La mue débute donc par une intense activité mitotique.

V-B. Déroulement de la mue :

La cuticule, d'une épaisseur de 0,06 mm chez les insectes, est composée de 3 couches de chitine, l'épicuticule, l'exocuticule et l'endocuticule, qui reposent sur les cellules de l'épiderme. L'épiderme et la cuticule forment le tégument. La chitine est sécrétée par des cellules épidermiques. Le processus de la mue (ou ecdysie) se décompose en plusieurs étapes (Fig. 22).

1. Séparation des cellules de l'épiderme de l'endocuticule, formation d'un espace sous-cuticulaire (apolyse)
2. Sécrétion d'un fluide (gel) dans l'espace sous-cuticulaire, constitué d'enzymes digestives, qui favorise la sécrétion de la nouvelle cuticule par les cellules épidermiques et qui digère l'ancienne endocuticule, libérant ainsi la place pour la nouvelle cuticule
3. Absorption des produits de la digestion par les cellules épidermiques (recyclage des composants de la cuticule), la nouvelle cuticule n'est pas encore différenciée, elle est appelée procuticule (exo- et endocuticule)
4. Formation de lignes en forme de Y sur l'ancienne cuticule au niveau de la tête et du thorax correspondant à la zone de sortie de l'insecte, zones de moindre résistance et de rupture (lignes ecdysiales)
5. Augmentation de la pression interne du corps de l'insecte par l'absorption d'air ou/et d'eau et par le pompage de l'hémolymphe (liquide circulatoire chez les invertébrés dont le rôle est similaire à celui du sang chez les vertébrés), ce qui permet l'ouverture de la cuticule
6. Libération de l'insecte de son ancienne cuticule par des mouvements musculaires spécifiques et stéréotypés, l'ancienne cuticule est appelée exuvie
7. Sclérotinisation de la nouvelle cuticule ; l'insecte maintient sa pression interne élevée pour permettre à la nouvelle épicuticule de prendre sa nouvelle taille, sécrétion de l'exo et de l'endocuticule et durcissement de l'ensemble de la nouvelle cuticule (mise

en place de liaisons chitine/protéines qui aboutie au tannage des protéines), puis mise en place de l'endocuticule.

Entre chaque mue, l'accroissement de taille est d'un facteur 1,25 et la masse double. L'espace temporel entre chaque mue, la durée d'accomplissement de la mue et le nombre de mues sont fortement variables entre les espèces et dépendent également des conditions alimentaires et climatiques. Une abondance de nourriture et des conditions environnementales favorables (température par exemple) peuvent accélérer le développement de l'insecte. La période de mue (**exuviation**) est critique pour les insectes, immobilisés et avec un tégument mou, il ne peut faire face à la prédation. Durant cette période, de plusieurs minutes à plusieurs heures, les insectes adoptent un comportement craintif et recherchent un lieu sûr pour se cacher.

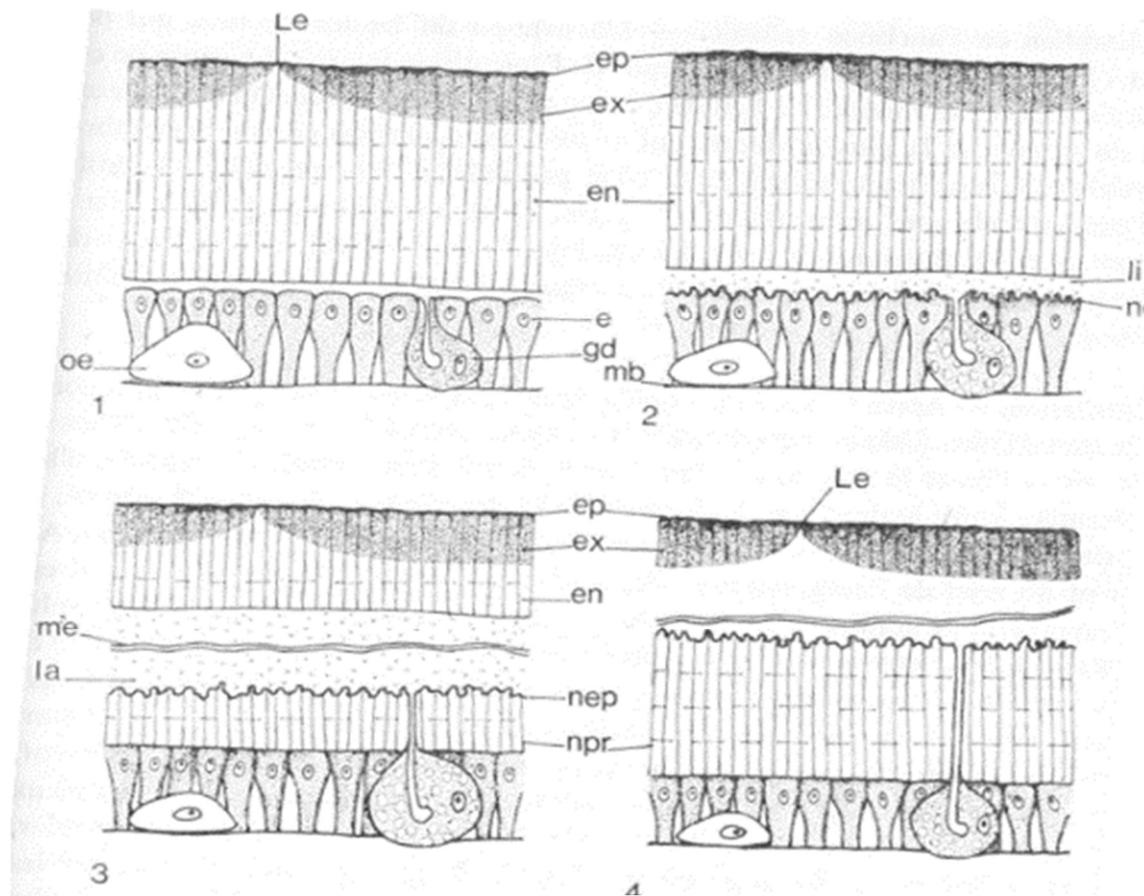


Figure 21 : La mue chez les insectes ; 1 : apolyse, 2 : sécrétion de la cuticuline, 3 : sécrétion de la procuticule et digestion de l'ancienne endocuticule, 4 : réabsorption du liquide de mue , e : épiderme, en, ep, ex : anciennes endocuticule, épicuticule et exocuticule, gd : glande dermique, le : ligne d'exuviation ; la, li : liquide de mue actif ou inactif, mb : membrane basale, me : membrane ecdysiale, nep, npr : nouvelle épicuticule et procuticule , oe : oenocyte

V-C. Contrôle et régulation de la mue :

La mue est un processus physiologique contrôlé et régulé par des hormones (Ecdystéroïdes) telle que la Prothoracicotropic Hormone (**PTTH**), l'Ecdysone et l'Hormone Juvénile (**HJ**) (fig. 22). Le déclenchement de la mue est provoqué par la synthèse de la PTTH par le cerveau. Cette hormone est transférée par voie nerveuse à une zone spécifique du système nerveux appelée *Corpora cardiaca* où elle sera stockée. Suite à des stimulations internes et externes comme : la température, la quantité de réserves en lipides, ou lorsque la larve atteint une taille critique ou encore lorsque la pression à l'intérieur de l'exosquelette atteint un seuil, la PTTH agit sur les glandes prothoraciques (d'où son nom) qui synthétisent à leur tour une seconde hormone : l'Ecdysone. Le rôle de l'Ecdysone est de favoriser la prolifération et la différenciation des cellules à l'origine des futures modifications du prochain stade larvaire. L'ecdysone est à l'origine d'une autre hormone nommée **Hormone de mue** (HM).

L'Hormone Juvénile est synthétisée dans la *Corpora allata* (zone spécifique du cerveau) et se diffuse dans l'organisme tout au long du développement de la larve. A l'approche du dernier stade larvaire, et de la métamorphose, la sécrétion de cette hormone diminue, tandis que la concentration en Ecdysone augmente. Ce qui détermine la mise en place d'une mue ou de la métamorphose est la concentration plus ou moins élevée en Hormone Juvénile dans l'organisme. Lors de la phase de métamorphose, les concentrations en HJ et HM sont quasiment nulles.

Une fois la mue réalisée, le processus s'inverse, les concentrations de PTTH et de l'Ecdysone diminuent et celles de HJ et HM augmentent.

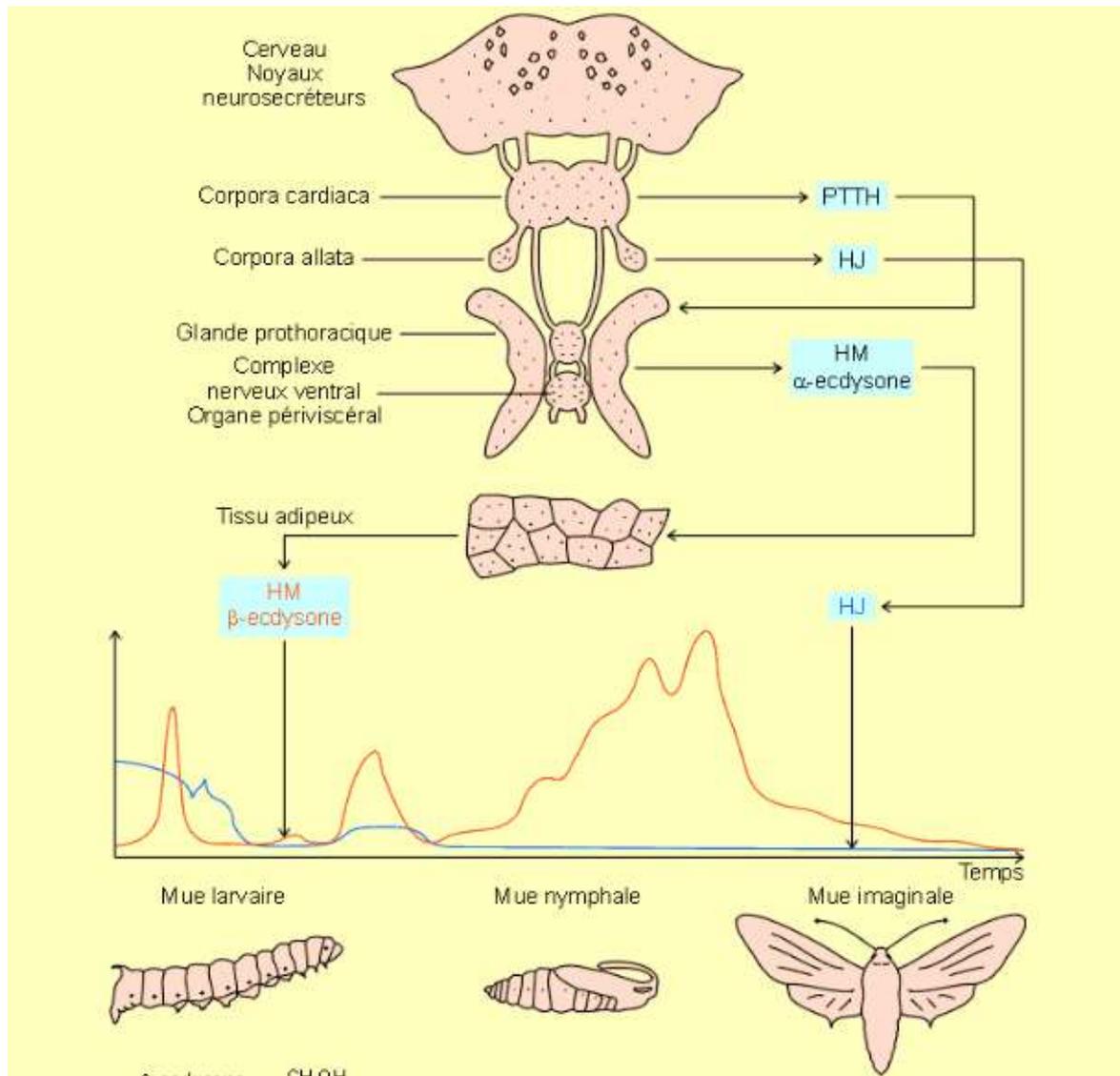


Figure 22 : Contrôle et régulation de la mue

CHAPITRE VI

LA RESPIRATION

Les échanges respiratoires chez les insectes sont réalisés essentiellement par un système de trachées qui amènent l'oxygène à l'état gazeux, les insectes aquatiques qui leur permettent de subvenir à leurs besoins en oxygène.

I. Le système trachéen

I-A. Organisation générale :

Certains insectes ne possèdent pas de trachées : la majorité des Collemboles, divers Porteurs qui sont de petite taille, ont des échanges respiratoires cutanés qui leur sont suffisants. Chez tous les autres insectes, un système de trachées se développe au cours de la vie embryonnaire à partir d'invagination ectodermique disposés métamériquement sur les cotés du corps. Les orifices de cette invagination deviendront des Stigmates. Celle-ci donne naissance à trois branches, une dorsale, une ventrale et une viscérale qui se ramifient afin de desservir tous les organes et tissus du demi – métamère correspondant. Les trachées stigmatiques successives s'unissent pour former de chaque coté un tronc trachéen longitudinal latéral, des troncs longitudinaux dorsaux, ventraux ou même parfois viscéraux relient les trachées dorsales, ventrales ou viscérale des différents métamères

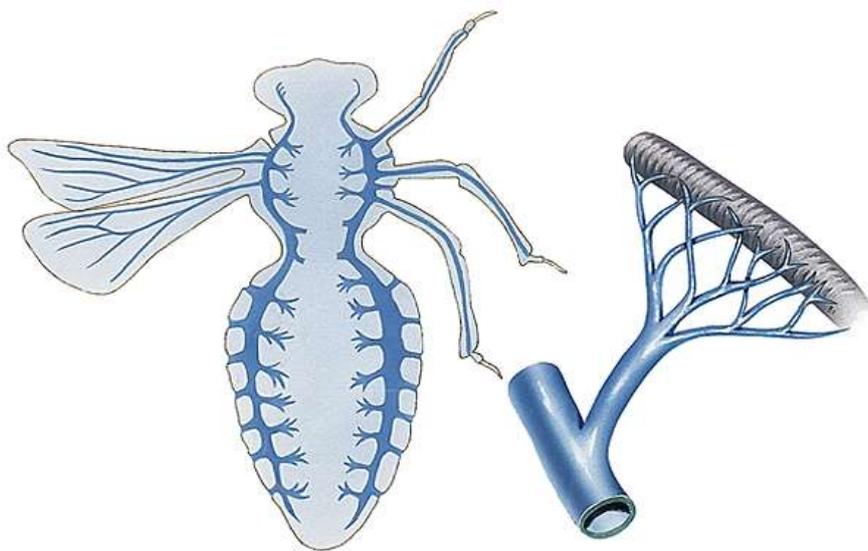


Figure 23 : Le système respiratoire des insectes.

I- B/ Trachées et trachéoles, Sacs aériens

Les trachées ont une paroi qui a la même structure que le tégument (d'origine ectodermique). Elle est rejeté est remplacé l'ors de chaque mue. Elle présente des épaissements ou taeniides disposés en cercles complets ou en spirale dans les trachées de diffusion.

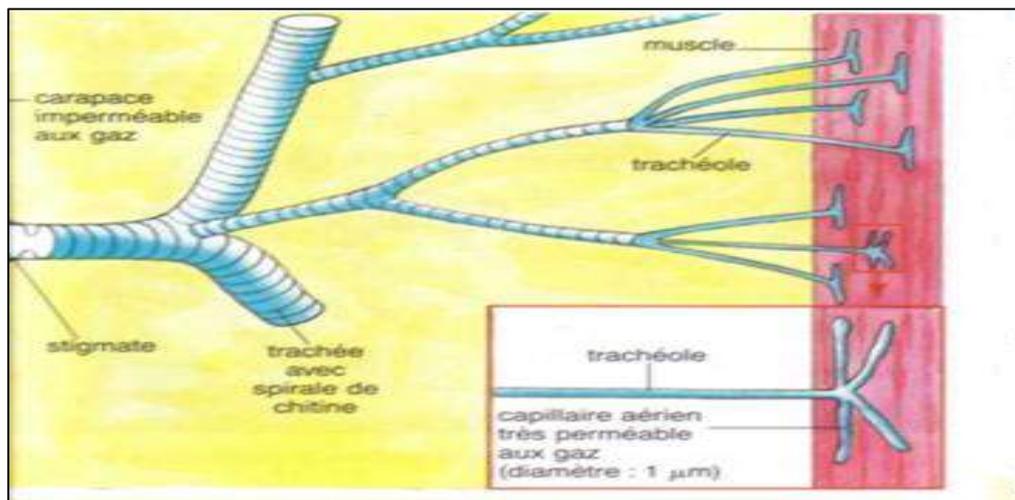


Figure 24 : Trachée et trachéole du système respiratoire des insectes

Les trachées peuvent s'élargir par endroit en sacs aériens. Ceux-ci peuvent être petits soit isolés comme dans les pattes, soit nombreux comme dans les muscles, les sacs aériens peuvent se dilater et se remplir d'air et s'aplatir et se vider. Leur présence permet une ventilation du système trachéen

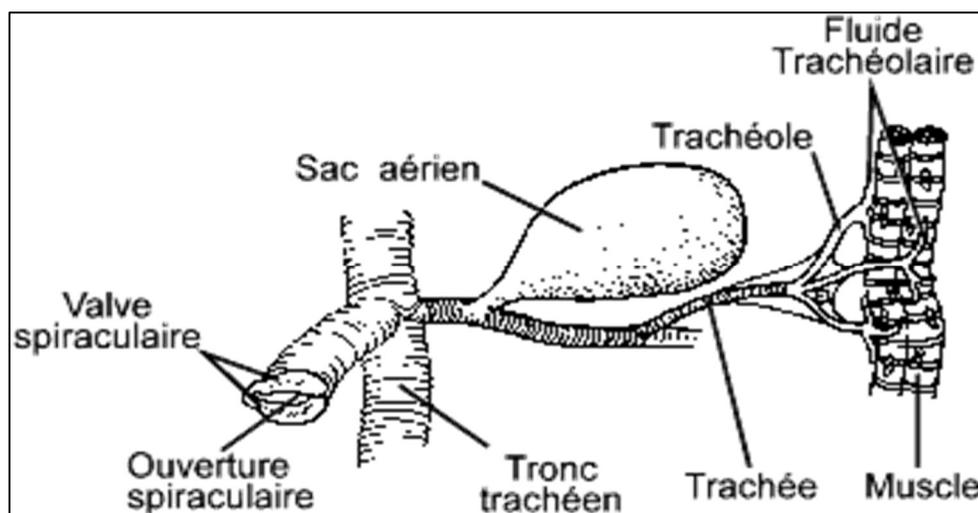


Figure 25 : Sac aériens des insectes

I-C/ Stigmate

Chez certains Aptérygotes, les stigmates sont de simples orifices qui mettent en relation les trachées avec l'extérieur. S'ils assurent les échanges respiratoires ils sont responsable aussi de pertes d'eau importante obligent ces insectes à vivre dans des milieux humides. Chez les autres insectes, des structures adaptatives limitent les pertes en eau tout en permettent les échanges respiratoires. La trachée stigmatique ne s'ouvre plus directement à l'extérieur mais dans un atrium (fig.26). La paroi atriale est revêtue de poils qui empêchent l'entrée des poussières et de l'eau. Un appareil de fermeture permet de restreindre les pertes d'eau.

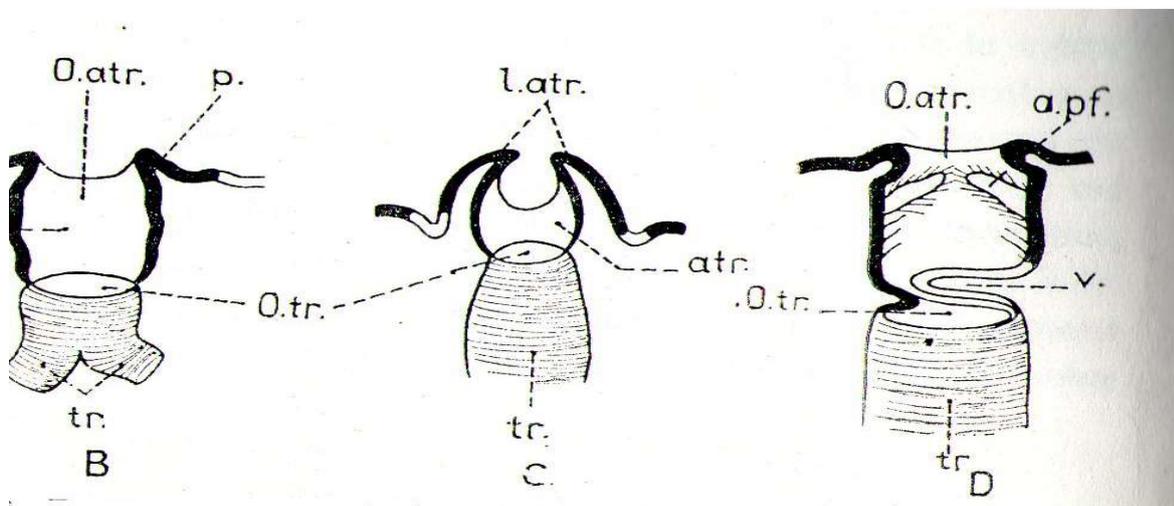


Figure 26 : Stigmate des insectes, A : stigmate simple, sans atrium, B : Stigmate avec atrium, C : stigmate avec atrium et lèvres de fermeture, D : stigmate avec dispositif d'occlusion à la base de l'atrium, O.tr : orifice de la trachée, O. atr : ouverture de l'atrium, p : pérित्रème, t : tégument, tr : trachée, v : valve d'occlusion

II. Aspect physiologique:

II-1. Diffusion:

Si les collemboles dépourvues de système trachéen peuvent se contenter d'une respiration cutanée, celle-ci ne représente pour la plupart des insectes qu'un apport négligeable et les échanges respiratoires nécessitent le transport des gaz le long des trachées, bien que les trachées présentent une certaine perméabilité aux gaz sur toute leur longueur, les échanges se font essentiellement au niveau du réseau trachéolaire intimement associé aux organes et tissus dans le transport de l'O₂ et du CO₂ il convient donc de distinguer deux étapes: la diffusion gazeuse dans les trachées et la diffusion dans les tissus (fig. 27).

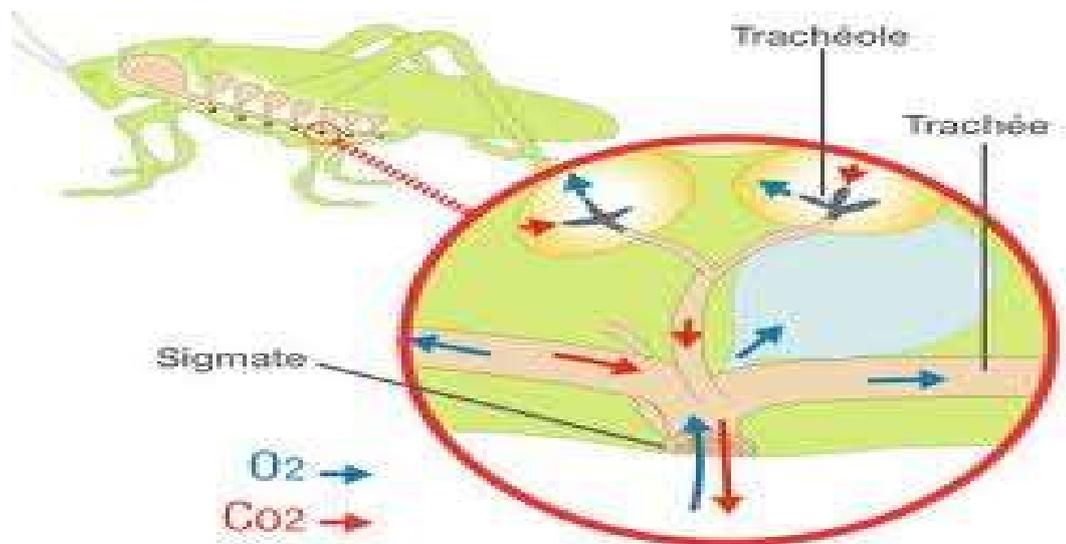


Figure 27 : Les échanges respiratoires chez les insectes

Si la réserve en O_2 par seule diffusion est suffisante, l'élimination du CO_2 libéré, résultant de la dégradation oxydative ne pose aucun problème, en effet, le CO_2 par suite de la grande solubilité a une vitesse de diffusion 36 fois plus grande que celle de l'oxygène. Que celle de l' O_2 , l'élimination du CO_2 peut se faire à la fois au niveau du système trachéen et par le tégument, soit pour toute sa surface chez les insectes à cuticule souple.

II-2. Ventilation :

L'apport en O_2 par diffusion selon les gradients de concentration, caractérise les insectes petits ou peu actifs, d'autant plus que les stigmates ne peuvent rester constamment ouverts à cause des déperditions en eau à leur niveau. Chez les insectes actifs et de grande taille doit s'ajouter la transmission d'air selon des gradients de pression ; les changements de volume ou ventilation sont possibles grâce à la présence des trachées de ventilation et surtout des sacs aériens. Les mouvements respiratoires sont synchronisés avec l'ouverture et la fermeture des stigmates. Chez certains insectes, l'air entre et sort par tous les stigmates sans distinctions. Chez d'autres espèces, il y a un écoulement dirigé généralement de l'avant vers l'arrière du corps. Chez *Periplaneta*, *Blaberus*, les stigmates thoraciques sont ouverts pendant l'inspiration et les stigmates abdominaux pendant l'expiration.

II-3. Contrôles de l'ouverture des stigmates:

Le rythme d'ouverture et fermeture des stigmates dépend de plusieurs facteurs qui agissent soit directement sur les muscles, soit par l'intermédiaire du système nerveux centrale.

- Le contrôle du rythme d'ouverture et fermeture des stigmates dépend de centres respiratoires situés dans la chaîne nerveuse ventrale,
- La présence de CO₂ entraîne l'ouverture des stigmates; le CO₂ peut agir directement sur les muscles en abaissant leur tension, le CO₂ agit localement au niveau du muscle puis il atteint le système nerveux central et provoque une réduction des décharges toniques, ce qui permet l'ouverture plus grande des stigmates

III. Respiration chez les insectes aquatiques et chez les endoparasites:

III-1. Insectes aquatiques:

Les solutions qui ont adoptées les insectes aquatiques sont très diverses. Beaucoup d'entre eux obtiennent l'oxygène de l'air atmosphérique, ce qui implique des contacts fréquents avec la surface de l'eau. Certaines espèces utilisent l'air contenu dans les végétaux immergés. D'autres espèces sont complètement adaptées à une vie aquatique et prélèvent l'oxygène dissous dans l'eau

III-1- 1.Utilisation de l'air atmosphérique:

La majorité des insectes aquatiques à l'état imaginal ainsi que les larves de Culicidé et de nombreux autres Diptères des Dytiques ; respirent l'air atmosphérique comme les insectes. Quelques insectes comme les larves d'Eristales, tout en restant au fond de l'eau , peuvent être en relation permanente avec l'atmosphère grâce à long siphon respiratoire télescopique qui peut atteindre six fois la longueur du corps.

Un système trachéen est présent il ne diffère de celui des insectes terrestre que par la réduction du nombre de stigmates fonctionnels

Tous les insectes qui utilisent l'oxygène de l'air ont à faire face à deux problèmes:

- Empêcher l'entrée de l'eau par les stigmates lorsque ceux-ci sont submergés
- Briser le film superficiel de l'eau pour atteindre l'air atmosphérique.

III-1-2. Utilisation de l'air contenu dans les végétaux immergés:

Les insectes peuvent acquérir l'oxygène dont ils ont besoin en le prélevant aux plantes aquatiques (certains insectes; larve de Curculionidés obtiennent de l'oxygène à partir de l'aérenchyme de végétaux, en déchirant les tiges ou les racines.

III-1-3. Utilisation de l'oxygène dissous dans l'eau

Chez tous les insectes aquatiques il y a une certaine diffusion de l'oxygène dissous dans l'eau à travers le tégument. Souvent les larves aquatiques ont une cuticule perméable et les échanges tégumentaires suffisent aux larves des petites tailles.

Trachéobranchie: Ce sont des évaginations du tégument ou du rectum à parois minces, richement fournies en trachées et trachéoles. L'oxygène qui entre dans le corps en solution sera libéré sous forme gazeuse dans les trachées qui gardent le rôle de transport des gaz à l'intérieur du corps, les trachéobranchie sont présentes chez la majorité des larves aquatiques et chez certaines nymphes.

III-2. Insectes endoparasites: La majorité des insectes endoparasites obtient l'oxygène par diffusion à partir des tissus de l'hôte.

CHAPITRE VII

LE SYSTEME CIRCULATOIRE

Généralité :

L'appareil circulatoire des insectes, très proche de celui des autres arthropodes est largement ouvert. Un seul vaisseau bien défini, le vaisseau dorsal (auquel s'ajoutent des vaisseaux segmentaires chez les dictyoptères) est présent ; la circulation de l'hémolymphe s'effectue donc en grande partie dans la cavité corporelle ou hémocoèle. Les tissus et les organes ne sont ainsi séparés de l'hémolymphe que par leurs gaines conjonctives. Dépourvus de pigments respiratoires, le sang n'intervient guère dans la respiration; l'oxygène est amené par le système trachéen. Le rôle essentiel de l'hémolymphe est la distribution des métabolites, le transport des hormones. L'hémolymphe par ses hémocytes a pour fonction de débarrasser l'organisme des microorganismes, des parasites et des particules solides

I. L'appareil circulatoire

I-1. Anatomie

L'hémolymphe circule dans le vaisseau dorsal grâce aux contractions du myocarde, avant de se répandre dans la cavité générale. Des adaptations anatomiques, diaphragmes et cœurs accessoires facilitent et règlent l'écoulement de l'hémolymphe qui ,après avoir baigné les organes , doit retourner vers le cœur.

I-1-1. Vaisseau dorsal et vaisseaux segmentaires

Le vaisseau dorsal, l'organe le plus important sinon le seul responsable de la circulation sanguine court médio- dorsalement juste sous les tergites sur presque toute la longueur du corps. Il est généralement maintenu en place par des filaments suspenseurs attachés aux tergites et par le diaphragme dorsal. (fig.28) Le vaisseau dorsal peut être un simple tube comme chez les larves de Moustiques ou un organe plus différencié comme chez les abeilles (fig.29). Il se divise en deux régions: à l'arrière, le cœur caractérisé par la présence d'ostioles et à l'avant, l'aorte toujours ouvert à son extrémité ; Primitivement le cœur s'étend dans le thorax et l'abdomen (Dictyoptères), mais chez la plupart des insectes, il ne se situe que dans la région abdominale il peut présenter sur une partie de sa longueur des élargissements segmentaires ou chambre cardiaques. Il est généralement fermé à son extrémité postérieure

mais plusieurs paires d'ostioles latéraux, en forme de fente permettent l'entrée d'hémolymphe.

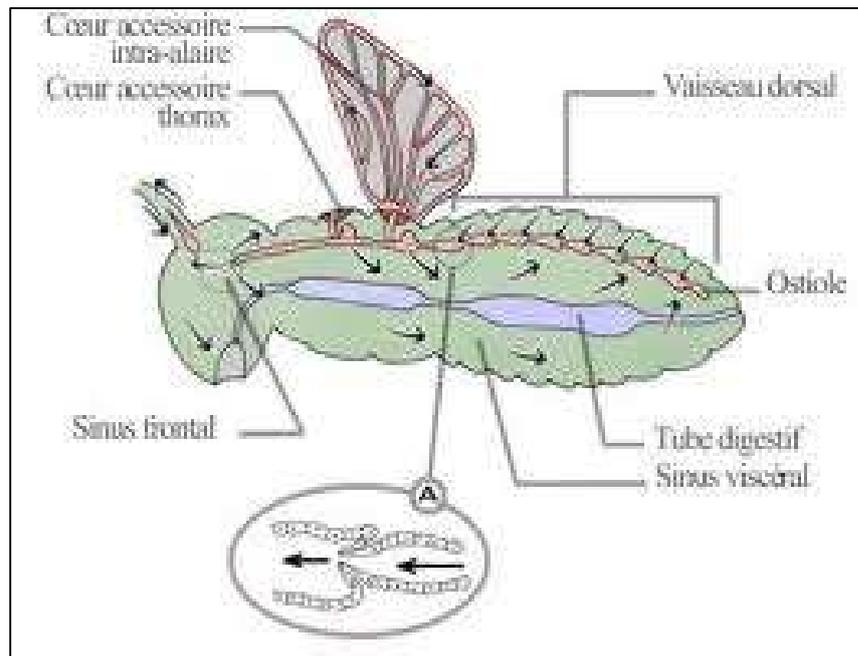


Figure 28 : Système circulatoire des insectes

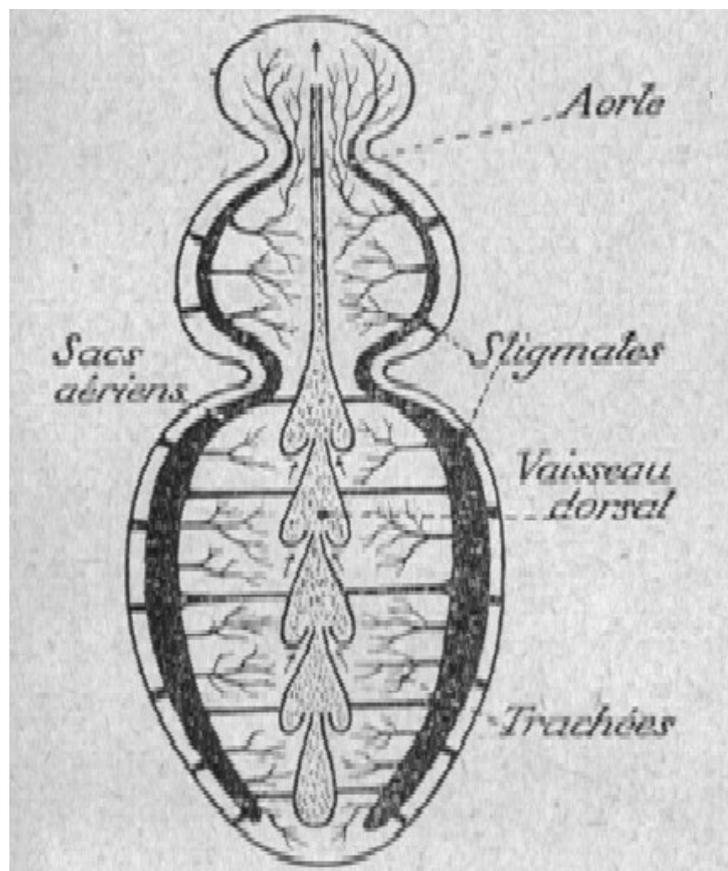


Figure 29 : Système circulatoire et respiratoire de l'abeille domestique

Le bord des ostioles forme des lèvres plus au moins développées s'invaginant dans la lumière cardiaque, fonctionnent comme des valvules. Celles-ci empêchent la sortie de l'hémolymphe et souvent également son retour en arrière dans le cœur lui-même

I-1-2. Diaphragmes et cœurs accessoires

La circulation du sang à l'intérieur de l'hémocoèle est contrôlée par la présence des diaphragmes bien développée dans l'abdomen.

2-1 Le diaphragme dorsal : Situé juste sous le cœur et le plus souvent soudé à lui, s'étend horizontalement et s'attache latéralement aux tergites. Il délimite un sinus péricardial il supporte des muscles aliformes disposés en éventail.

2-2 Le diaphragme ventral : De même structure que le diaphragme dorsal passe au-dessus de la chaîne nerveuse ventrale et délimite un sinus périneural. Des structures pulsatiles indépendantes du cœur ont été décrites chez très nombreux insectes, ce sont des vésicules percées parfois d'orifice latéraux ont le rôle est le même que celui des ostioles cardiaques. Ces cœurs accessoires facilitent la circulation du sang à l'intérieur des appendices et des ailes.

I-1-1-3. Cellules péricardiales:

Les cellules péricardiales d'origines mésodermiques sont généralement dispersées le long du vaisseau dorsal, sur le diaphragme dorsal ou sur les muscles aliformes. Elles sont logé dans le tissus adipeux chez les larves d'odonates. Contrairement aux hémocyte elles n'entrent jamais dans la circulation sanguine. Elles jouent le rôle d'accumulations de certains colorants comme la carminante d'ammonium.

Les cellules péricardiales auraient également une autre fonction selon certains auteurs elles secréteraient une substance cardio- accélératrices sous l'action d'un facteur présent dans le corpora cardiaca.

II. La circulation sanguine

II-1.Cycle cardiaque et régulation du rythme cardiaque

La circulation du sang est assurée par les contractions rythmiques du cœur. Des ondes de contractions se propagent le long du tube cardiaque, généralement de l'arrière vers l'avant, la

fréquence à laquelle bat le cœur varie considérablement selon l'état physiologique et l'activité de l'insecte.

-Pour l'espèce *Sphinx ligustri*, elle est de 40-50 battement / mn chez l'imago au repos mais de 110- 140 battement / mn en période d'activité

- Le rythme cardiaque augmente en fonction de la température.

Le contrôle hormonal du rythme cardiaque a été recherché par l'action de diverses glandes ou de système nerveux. Les corpora cardiaca produiraient des substances qui ont une activité cardio-accélétratrice. Chez *Locusta migratoria*, les corpora allata exercent aussi une cardio-stimulation: leur ablation provoque une chute du rythme cardiaque, l'implantation du corpora allata supplémentaires a l'effet inverse.

II- 2. Circulation de l'hémolymphe

La pression de l'hémolymphe est en général élevée dans l'hémocoèle. Chez les insectes à cuticule rigide, elle correspond approximativement à la pression atmosphérique. Le sang est aspiré par le cœur à travers les ostioles latéraux pendant la diastole car la pression cardiaque est alors moindre que celle de l'hémocoèle. le sang est ensuite propulsé vers l'avant par les ondes de contraction et ressort à l'extrémité antérieure de l'aorte (éventuellement également au niveau des ostioles ventraux ou des vaisseaux segmentaires). Une partie du sang est ensuite pompée par les organes pulsatiles vers les antennes, le reste s'écoule vers l'arrière de l'animal, selon le gradient de pression : la sortie de l'hémolymphe par l'aorte entraîne une élévation de la pression dans la tête

III. L'hémolymphe

L'hémolymphe des insectes qui comprend le plasma et de nombreux types d'hémocytes nucléé est le seul liquides extracellulaire circulent dans le corps. Son volume est extrêmement variable selon les espèces : le sang peut présenter entre 1 à 45% du poids total de l'insecte.

III-A. Composition chimique du plasma:

1/ La composition ionique

Le plasma présente tout un ensemble de particularités biochimiques. La pression osmotique chez les insectes est assez élevée, généralement les insectes sont capables de régler la pression osmotique de l'hémolymphe si bien que celle-ci reste constante même pendant la déshydratation ou la réhydratation de l'animal , la pression osmotique des liquides corporels

est assurés par les constituants inorganiques (les ions Na^+ et Cl^-), c'est le cas des Aptérygotes et la plupart des Exoptérygotes . Mais chez les Endoptérygotes , les effecteurs osmolaires inorganiques tendent à être remplacés par des molécules organiques.

- Chez les Mégaloptères, Névroptères, Mécoptères et Diptères ; l'ion Na^+ reste le principal cation mais le taux de Cl^- est faible et cet ion est remplacé partiellement par des acides aminés et autres molécules organiques, l'importance d'ion Cl^- déjà plus réduite chez les Trichoptères, devient minime chez les Lépidoptères, Hyménoptères et nombreux Coléoptères. Ce sont les acides aminés libres qui ont le rôle principal comme effecteur osomolaires
- La nature du régime alimentaire a été évoquée, les tissus végétaux contiennent une grande quantité de potassium et la teneur élevée de l'hémolymphe en potassium serait caractéristique des insectes phytophages.

2/ La composition glucidique

L'hémolymphe chez les insectes contient en général seulement de faibles quantités de sucres réducteurs, mais par contre des quantités importantes de tréhalose. Le tréhalose est synthétisé au niveau des tissus adipeux à partir du glucose d'origine alimentaire ou à partir du glycogène stocké dans le corps gras. Ce tréhalose qui sert de réserve énergétique circulante peut être utilisé par la plupart des tissus grâce à l'existence d'un tréhalose intracellulaire

3/ Les composants azotés

Parmi les constituants azotés du sang, peuvent se trouver parfois en quantité élevée des produits terminaux du métabolisme: acide urique, allantoïne, acide allantoïque, urée, ammoniacale mais surtout l'amino-acidémie.

Les acides aminés libres qui interviennent comme effecteur osmolaires, peuvent atteindre une concentration de 4g/l d'hémolymphe, donc cent fois supérieure à celle qui existe dans le plasma des vertébrés

Les protéines de l'hémolymphe sont essentiellement synthétisées par le corps gras, sous le contrôle des cellules neurosécrétrices de la pars intercérébrale et des corpora allata. Chez les femelles, une protéine spéciale (la protéine femelle) ou vitellogénine, est trouvée dans l'hémolymphe des femelles et peut constituer jusqu'à 50% des protéines plasmatiques, elle est prélevée sélectivement par les ovocytes.

Parmi les protéines de l'hémolymphe, une forte proportion de protéines enzymatiques: amylases, estérases, enzymes protéolytiques,

4/ Les composants lipidiques:

Les lipides présents dans l'hémolymphe, qu'ils proviennent des phénomènes de digestion ou qu'ils soient libérés par le corps gras sont essentiellement des glycérides, stérides, stérols, phospholipides, et acides gras. Associés à des protéines ils sont ainsi solubilisés dans l'hémolymphe. Les lipoprotéines apparaissent donc comme moyen de transport des lipides

III-B. Les hémocytes:

Les hémocytes des insectes sont des cellules nucléées, circulé avec le plasma, les hémocytes sont d'origines mésodermiques. Il existe chez les insectes trois types bien définis:

1/ Les prohémocytes (ou proleucocytes): sont des cellules souches circulantes car sont observées en mitose. De petite taille, avec un grand noyau

2/ Les plasmatoctes: sont très polymorphes, ils sont caractérisés par leur grand noyau rond ou ovoïde au centre d'un cytoplasme finement granuleux et basophile. Les plasmatoctes sont activement amoéboïdes et sont doués de phagocytose.

3/ Les granulocytes: sont des cellules compactes, polymorphes avec un noyau relativement petit dans un cytoplasme abondant qui renferme de nombreux granules. Les granulocytes interviennent dans le métabolisme intermédiaire

III-C. Fonction de l'hémolymphe

Les fonctions de l'hémolymphe sont plus diverses, les unes étant assurées par les hémocytes, les autres par le plasma.

- Le sang ne contient pas des transporteurs d'oxygène comparable aux hémoglobines et aux hémocyanines des autres phylums.
- La pression osmotique de l'hémolymphe est maintenue constante, cette réserve potentielle en eau permis aux insectes de vivre dans des milieux arides
- L'hémolymphe transmet les changements de pression interne au système trachéen .elle a un rôle mécanique dans une région privilégiée du corps assure la rupture de la vieille cuticule, l'expansion des ailes après la mue imaginale

- **Le plasma joue un rôle de transport et de distribution;** il amène les hormones vers leur lieu d'action, les produits à éliminer aux tubes de Malpighi, il distribue les métabolites résultant de la digestion ou stocké dans le corps gras aux tissus et organes qui les utilisent.
- Les hémocytes peuvent être impliqués dans le métabolisme intermédiaire chez Sarcophaga, Drosophila, les hémocytes possèdent de la tyrosine et de la tyrosinase. Interviennent dans le métabolisme des phénols et dans le phénomène de sclérotinisation et de mélanisation de la cuticule
- Les hémocytes jouent le rôle de défense contre les endoparasites trop gros pour être phagocytés. L'enkystement des corps étrangers est réalisé par les plasmatocytes
- La phagocytose est une autre réaction de défense, elle est assurée essentiellement par les plasmatocytes mais également par certains autres hémocytes. La phagocytose joue un rôle de nettoyage par l'élimination de tissu en histolyse pendant la métamorphose
- L'hors des blessures, les hémorragies sont arrêtées par coagulation de l'hémolymphe. Les cellules impliquées sont des coagulocytes.

CHAPITRE VIII

DIGESTION ET NUTRITION

Généralités :

Les insectes ont de régimes alimentaires d'une extrême diversité. Presque tous les matériaux organiques peuvent leur servir de nourriture : aliments secs comme les grains ou liquides comme le sang, la sève ou le nectar, aliments inhabituels comme la Kératine, la cire des abeilles. Aussi parmi les insectes de nombreuses espèces ont-elles nuisibles, s'attaquent aux cultures, aux arbres des vergers ou de forêts ou encore aux denrées stockées. Les hématophages sont souvent des vecteurs de maladies ; certaines espèces sont des parasites de l'homme ou des animaux domestiques. D'autres insectes entomophages, interviennent dans la régulation des populations et sont utiles auxiliaires dans la lutte biologique contre les insectes ravageurs.

I. Régimes alimentaires

La diversité des habitudes alimentaires de la digestion chez les insectes rend difficile une généralisation à l'ensemble des insectes des faits établis sur les mécanismes de la digestion chez un nombre relativement faible d'espèces. Il faut tenir compte en plus que de nombreux insectes changent le régime alimentaire à la métamorphose.

I-A. Les phytophages

La phytophagie représente le type alimentaire fondamental pour l'immense majorité des Orthoptères, Homoptères, Lépidoptères. Elle est fréquente chez les Coléoptères, les Hyménoptères et les Diptères sont associés aux plantes.

Seules quelques espèces sont très polyphages, la plupart des insectes effectuent un choix plus ou moins rigoureux, étant soit des oligophages, soit des monophages stricts. Toutes les parties de la plante peuvent être consommées mais généralement par des différents insectes, l'insecte se spécialisant également pour le niveau de la plante dont il se nourrit.

- Les défoliateurs (chenille de Lépidoptères, larves de Symphytes) se nourrissent de feuilles, de nombreux Hémiptères se nourrissent au dépens de feuilles ou des tiges en perceant et en aspirant le suc cellulaire et la sève.

- Les insectes qui forent les racines vont d'une plante à l'autre par des voyages souterrains.
- Les insectes se nourrissant des pétales sont rares mais de nombreux insectes ailés visitent les fleurs pour le pollen et le nectar (assurant la pollinisation des plantes)
- Les larves de Coléoptères (Bruchidae, Curculionidae), de Lépidoptères consomment les graines qui contiennent les éléments essentiels à la croissance de la plante.

I-B. Les Saprophages

Se nourrissent de substances animales ou végétales en décomposition, les saprophages jouent un rôle important : ils facilitent la décomposition des substances organiques. Les saprophages des végétaux en décomposition sont principalement des larves de Coléoptères et des larves de Diptères, les Nécropores s'attaquent aux cadavres comme les Mouche du genre *Calliphora*, *Lucilia*.

I-C. Les prédateurs

Les proies sont le plus souvent d'autres insectes, soit Phytophages, soit saprophages ; les odonates les Mantidae sont très polyphages la proie étant choisie essentiellement en fonction de sa taille. Les prédateurs appartenant à des ordres plus spécialisés s'attaquent le plus souvent à une seule espèce bien précise

- Les larves et imagos des Coccinellidae sont utiles prédateurs d'Aphidoidea, Coccoidea : *Rodolia cardinalis* a été introduit aux U.S.A pour limiter les populations d'Icerya
- Chez les Hyménoptères, les imagos vivent généralement en butinant les fleurs, la majeure partie des larves sont carnivores, et se nourrissent des proies procurées par leur mère
- Les larves de Diptères sont mal armées pour le prédatisme, mais à l'état imaginal les Asilidae sont des prédateurs remarquables et capturent des insectes bien plus grands qu'eux.
- Les insectes prédateurs ont donc un grand rôle dans les régulations des populations de phytophage

I-D. Les parasites

La plupart des insectes parasites sont des ectoparasites et essentiellement des hématophages. Ils peuvent être des vecteurs de maladies infectieuses et parasitaires pour l'homme (Paludisme, Trypanosomiase) ou pour les animaux domestiques parmi ces hématophages ; les moustiques et les puces ne sont ectoparasite qu'à l'état imaginal, les poux et les punaises sont dépendent de leur hôte pendant toute leur vie.

- Les insectes endoparasite des vertébrés sont peu nombreux ; ce sont essentiellement des Diptères, hautement spécialisés : Gasterophilidae, Oestridae
- Les insectes entomophages sont très nombreux. Ils mènent une vie parasitaire seulement à l'état larvaire sur ou dans l'insecte –hôte, l'imago est libre. la larve commence généralement à se nourrir aux dépens du sang et des organes non vitaux de son hôte, n'attaquant qu'en dernier lieu le système nerveux. Comme cela entraîne la mort de l'hôte.

II. Le tube digestif; organisation fonctionnelle

Le tube digestif précédé de la cavité orale comprend trois parties d'origine embryologique différente : le stomodeum ou intestin intérieur, le mésentéron ou intestin moyen, le proctodeum ou intestin postérieur (fig.30). Le stomodeum et le proctodeum qui sont des dérivés ectodermiques, présentent un revêtement cuticulaire. Le mésentéron peut être considéré, au moins dans certains cas, comme une formation endodermique. Chez de nombreuses espèces une membrane péritrophique est présente accroché dans sa lumière le bol alimentaire. Le tube digestif est entouré des muscles longitudinaux et circulaires

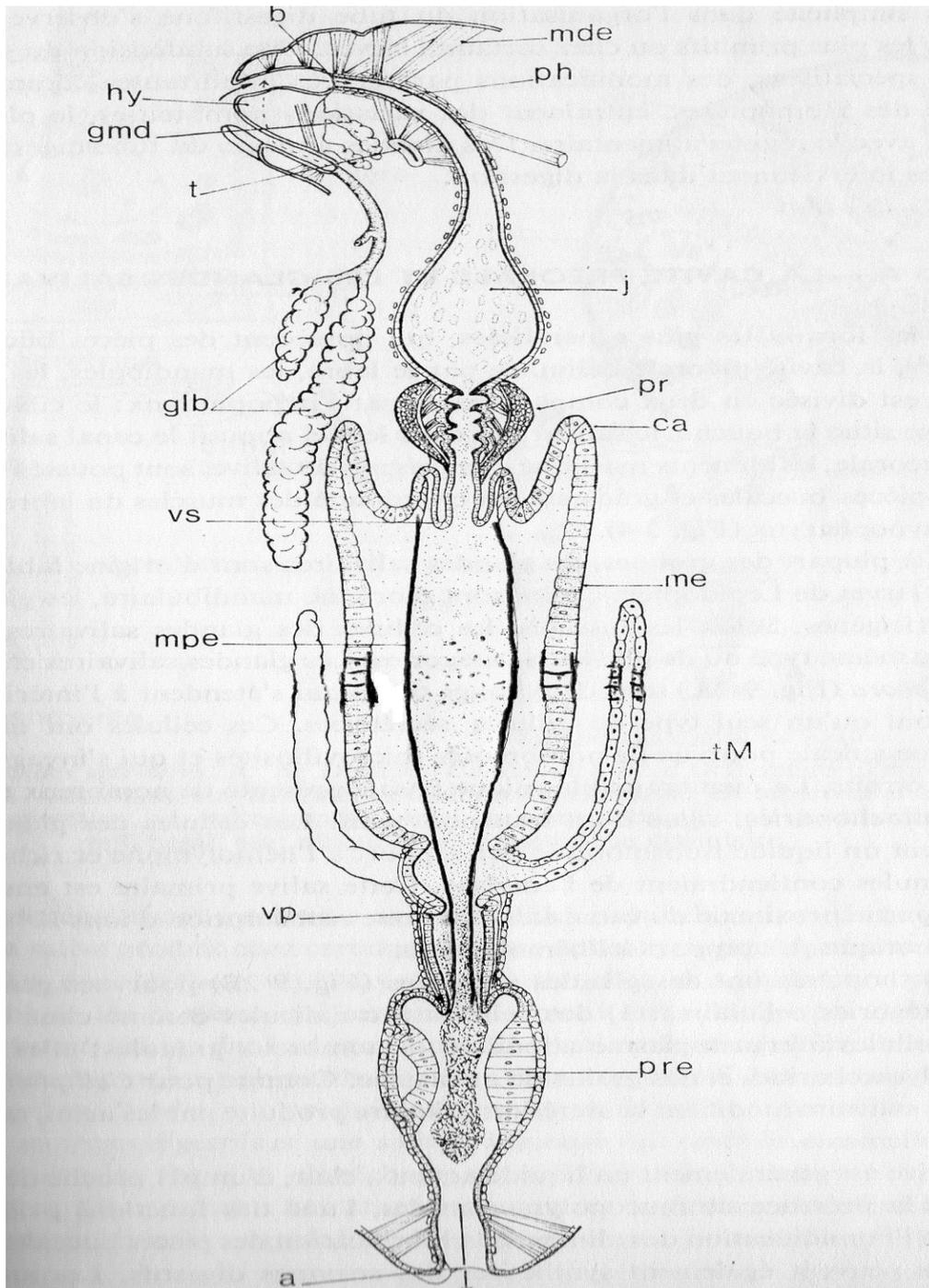


Figure 30 : structure du tube digestif d'insecte. a : anus, b : bouche, ca :ceacum, glb, gmd : glande labiale (salivaire) et mandibulaire, hy : hypopharynx, j : jabot, mde :muscle dilateur extrinsèque du pharynx, me : mésentéron, mpe :membrane pérित्रophique, ph : phrynx, pr : proventricule, pre : papille rectale, t : tentorium, tM : tube de Malpighi, vp : valvule pylorique, vs : valvule stomodéale

II-A. La cavité préorale et les glandes salivaires

Chez les formes les plus généralisées, qui possèdent des pièces buccales du type broyeur, la cavité préorale délimitée par le labre, les mandibules, les maxilles, et le labium, est divisée en deux compartiments par l'hypopharynx : le cibarium au fond duquel se situe la bouche, le salivarium dans lequel aboutit le canal salivaire. Dans la cavité préorale, les aliments mastiqués, imprégnés de salive, sont poussés vers la bouche par des pièces buccales et grâce au jeu coordonnées des muscles du labre, du cibarium et de l'hypopharynx.

La salive est généralement un liquide aqueux, clair, d'un pH de la neutralité ; grâce à la présence de mucopolysaccharides, l'une des fonctions principales de la salive est l'humidification des aliments, la lubrification des pièces buccales. Les glandes salivaires peuvent être toutes du même type ou de plusieurs catégories. Les glandes salivaires chez les imagos de calliphora (fig. 31 A) sont de longs tubes qui s'étendent à l'intérieur du corps. Les Orthoptères ont des glandes acineuses (fig. 31 B) pourvue de deux catégories cellulaires. Les glandes salivaires peuvent également synthétiser des enzymes digestifs. Les amylases et les invertases sont parmi les enzymes les plus fréquents dans la salive : l'amylase est extrêmement active chez *Periplaneta*, l'invertase s'observe chez les Lépidoptères.

La salive produit chez certaines espèces des enzymes qui facilitent la pénétration des stylets dans les tissus végétaux ou animaux : chez les Aphidae, une pectinase salivaire hydrolyse les pectines qui servent de ciment entre les parois des cellules végétales

- *Platyeris* injecte dans sa proie une salive qui renferme de la hyaluronidase, cette enzyme rompt les polysaccharides du tissu conjonctif
- Les punaises phytophages (*Oncopeltus*, *Dysderus*) produisent deux types de salive : une salive aqueuse contenant des enzymes digestifs et une salive visqueuse qui revêt le canal creusé par les stylets à travers les tissus et empêche en se solidifiant de la sève autour des stylets
- Chez certains hématophages, comme la Glossines, la salive contient un anticoagulant qui évite la coagulation du sang ingéré au niveau de la trompe et du jabot.

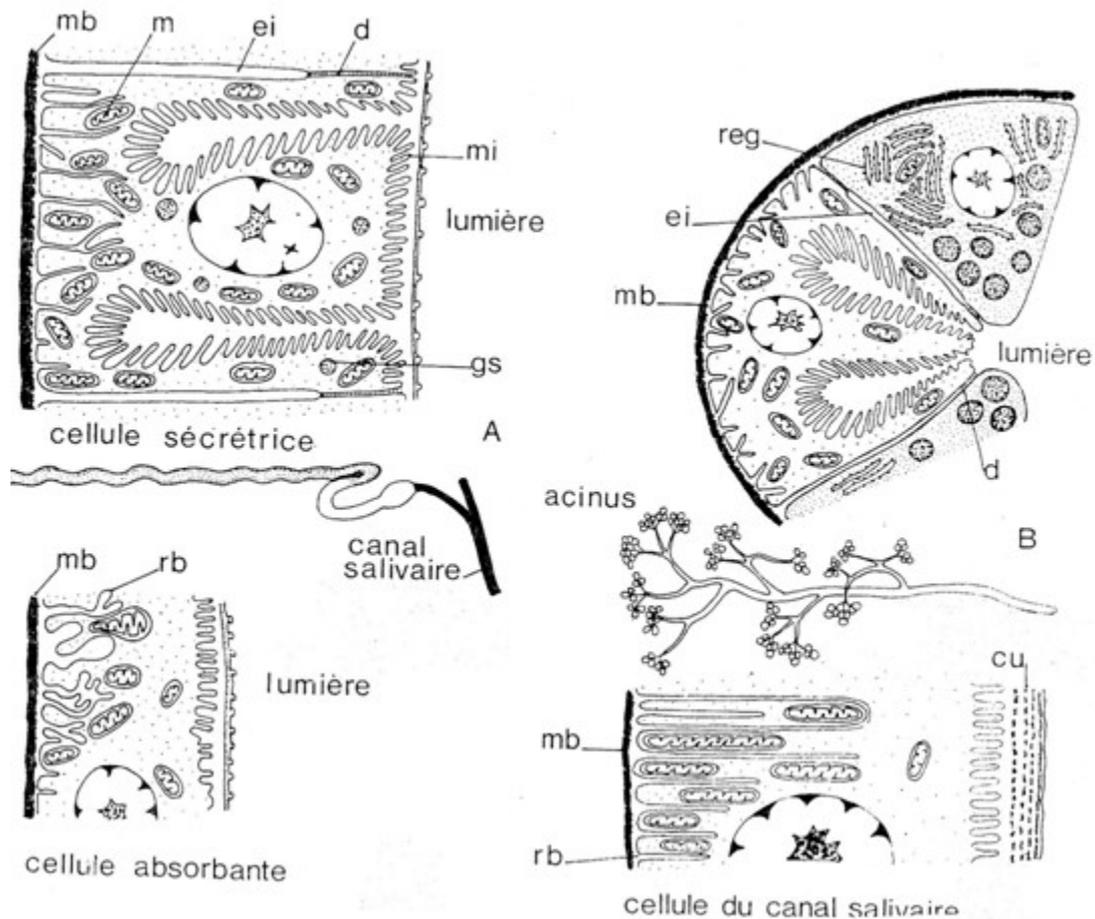


Figure 31- A : glandes salivaires de Diptère (*Calliphora*), B : d'Orthoptère, cu : cuticule, ei : espace intercellulaire, gs : granule de sécrétion, m : mitochondrie, mb : membrane basale, mi : micorvillosité, rb : repli basal, reg : réticulum endoplasmique granulaire.

II- B. Le stomodeum

Originellement le stomodeum a pour seule fonction d'amener les aliments jusqu'au mésentéron. L'épithélium stomodeal est généralement plat, recouvert d'une couche cuticulaire assez épaisse. Les aliments sont acheminés par les mouvements du stomodeum. Celui-ci possède une tunique musculaire importante avec des fibres circulaires externes et des fibres longitudinales internes.

Chez les insectes primitifs et chez certaines larves le stomodeum est un simple tube s'étendant de la bouche au mésentéron. Mais chez la plupart des insectes, il se différencie en plusieurs régions spécialisées.

II-B-1. Le jabot

La première partie du stomodeum joue le rôle du stockage des aliments, le jabot parfois une simple dilatation stomodéale ; dans un autre cas, il s'agit d'un diverticule du tube digestif, le jabot est souvent le siège de phénomènes de digestion sans produire lui-même des enzymes.

*Les enzymes qui interviennent peuvent avoir deux origines différentes. Ils peuvent être présents dans la salive. Chez les abeilles le nectar des fleurs est mélangé aux enzymes salivaires est convertit en miel dans le jabot ou « estomac d'abeille »

* les enzymes produits par le mésentéron peuvent remonter à travers la valvule œsophagienne située à la limite entre le stomodeum et le mésentéron. Chez les Orthoptères le jabot est le principal lieu de digestion, si la digestion des aliments peut se dérouler partiellement dans le jabot, il n'en est pas de même pour les phénomènes d'absorption : le jabot d'une Blatte, utilisé comme osmomètre reste imperméable à l'eau et aux sucres. Toutes fois, il pourrait y avoir absorption de graisses.

II-B- 2. Le proventricule

Le broyage des aliments solides est réalisé dans la partie terminal du stomodeum ou proventricule transformé alors en gésier : la tunique musculaire est très développée, l'intima cuticulaire épaisse et sclérotinisée est munie de denticules puissants. Chez les insectes broyeur le gésier est bien développé, un tamis de soies peut retenir les particules trop grosses et ne laisser passer que les particules les plus fines vers le mésentéron. Chez les Hyménoptères Aculéates, le proventricule joue le rôle de « bouche de l'estomac », en effectuant un tri entre les grains de pollen et le nectar transformé en miel ; seul le pollen est dirigé vers le mésentéron. Le retour des aliments du mésentéron vers le stomodeum est empêché au moins dans une certaine mesure par la valvule œsophagienne cardiaque.

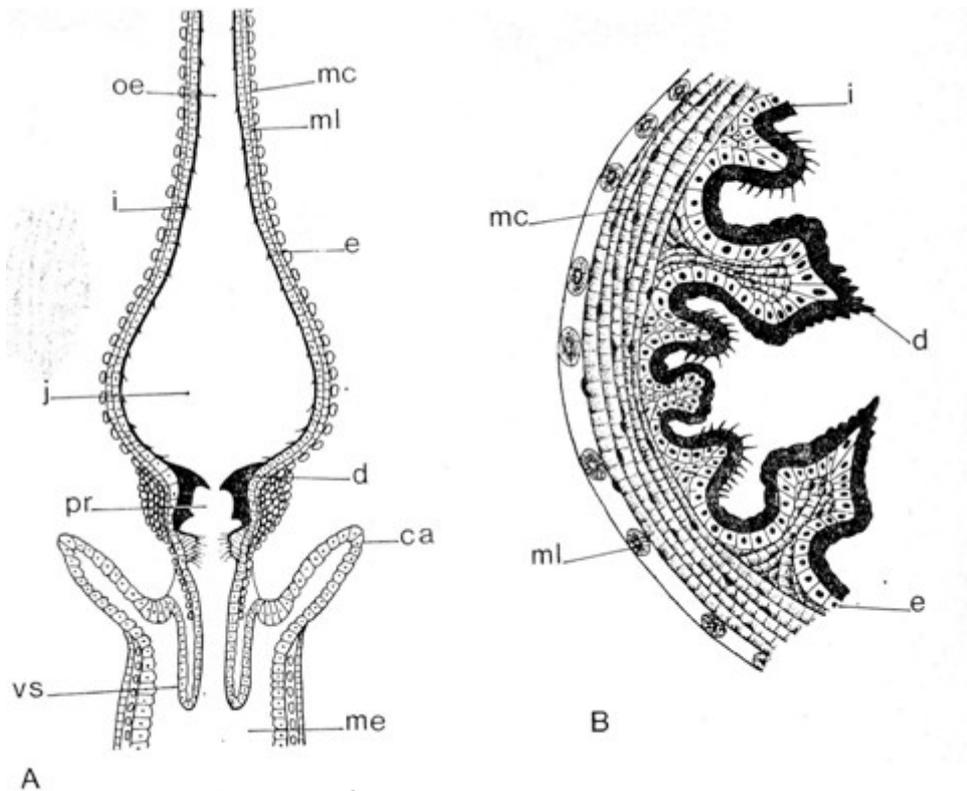


Figure 32 - A : Section longitudinale du jabot et du proventricule de *Periplaneta americana*, B : section transversale de la paroi du proventricule de *Decticus albifrons*, ca : caecum, d : denticule cuticulaire, e : épithélium, i :intima, j : jabot, mc :muscle circulaire, me : mésentéron, ml :muscle longitudinal, oe : œsophage, pr : proventricule, vs : valvule stomodéale.

II-C- Le mésentéron

Le mésentéron est la partie réellement digestive du tube digestif : il sécrète les enzymes digestifs et intervient dans les phénomènes d'absorption. La surface d'absorption est augmentée par l'existence d'une ou plusieurs paires de **caecums** gastriques. La paroi intestinale forme parfois de profonds replis. Elle comprend un épithélium plus haut qu'au niveau du stomodeum une musculature moins épaisse, discontinue, avec des fibres circulaires internes et des fibres longitudinales externes. Ainsi l'épithélium intestinal est il par endroit séparé de l'hémolymphe seulement par la membrane basale et une fine couche de tissu conjonctif.

Selon les insectes, on reconnaît deux ou trois types cellulaires répartis de façon assez uniforme le long du mésentéron.

1. Les cellules columnaires : toujours présentes sont hautes, portent à leur face apicale une bordure en brosse, elles ont les mêmes caractéristiques des cellules intestinales de Vertébrés :

microvillosité recouvertes de glycocalyx, mitochondries associées à des cytomembranes, réticulum granulaire et appareil de Golgi importants, nombreuses gouttelettes lipidiques. Ces cellules sont capables d'assurer à la fois la sécrétion des enzymes digestifs et les phénomènes d'absorption.

2. Les cellules calciformes : existent chez les larves de Lépidoptères, Epheméroptères et les Plécoptères, elles se distinguent par la présence d'une profonde cavité produite par l'invagination de la membrane plasmique apicale. Cette cavité est tapissée de longues microvillosités contenant chacune une mitochondrie, ces cellules sont observées chez les larves de Lépidoptères qui sont phytophages donc une alimentation riche en potassium K^+ . Elle interviendrait dans la régulation ionique de l'insecte en rejetant des ions de potassium (K^+) de l'hémolymphe vers la lumière intestinale.

3. Cellules basales ou cellules de remplacement : Les cellules intestinales en activité ont une vie brève et elles sont remplacées par des cellules basales ou cellules de remplacement, indifférenciées, soit isolées et réparties le long du mésentéron soit groupées en nids ou au fond de la paroi intestinale.

4. La membrane péritrophique : La protection de l'épithélium intestinal est assurée chez la plupart des insectes par une membrane péritrophique mince et transparente, véritable manchon séparant le contenu du tube digestif de l'épithélium intestinal, chez les Diptères et les Dermoptères elle est secrétée par un anneau de cellules spécialisé à la limite antérieure du mésentéron. La membrane péritrophique emballe la nourriture. Pendant son passage le long du mésentéron. Elle se prolonge intacte dans le proctodeum et emballe souvent les boulets fécaux. Elle est donc évacuée par l'anus soit périodiquement (*Aeschna*) soit de manière continue (larve d'*Eristale*).

II-D. Le proctodeum

La jonction entre le mésentéron et le proctodeum est marquée par une valvule. A ce niveau débouchent les tubes de Malpighi. Le proctodeum est souvent différencié en section antérieure, étroite et tubulaire et une section postérieure ou rectum, plus large généralement l'absorption des produits de la digestion est achevée lorsque le contenu intestinal quitte le mésentéron et l'intervention du proctodeum dans l'absorption des acides aminés et des acides gras est minime. Le proctodeum a pour rôle d'évacuer les excréments ainsi que les produits d'excrétion des tubes de Malpighi ; le rectum a une musculature plus développée que le

mésentéron. Le moulage des fèces implique une récupération d'eau et des ions provenant soit du mésentéron, soit des tubes de Malpighi. Le proctodeum a donc son rôle dans la régulation de la pression osmotique. Les cellules responsables de cette réabsorption sont souvent groupées en papilles ou glandes rectales.

III. Physiologie de la digestion

III-A. Digestion des aliments

Le stock enzymatique est généralement adapté à la nature des aliments, les omnivores comme les Blattes ont un assortiment capables de digérer les aliments courants, au contraire les insectes hématophages à régime essentiellement protéique n'ont guère que des enzymes protéolytiques.

Les insectes se nourrissant de nectar ne produisent que des invertases. Cette adaptation apparaît nettement chez les Holométaboles qui changent le régime alimentaire à la métamorphose ; les larves de Lépidoptères phytophages ont une large gamme d'enzymes, l'imago ne possède qu'une invertase. Chez les larves de *Lucilia* qui se nourrissent de viande, le mésentéron sécrète protéases et lipase et les glandes salivaires une amylase ; chez l'imago, la protéase est peut active mais il ya une amylase, une invertase et une maltase. Des microorganismes symbiotiques peuvent produire des enzymes utilisés directement ou indirectement par l'insecte.

1/ aliments protéiques :

Les enzymes protéolytiques les plus courants dans le tube digestif des insectes sont actifs pour un Ph neutre ou alcalin ressemblent donc à la trypsine des Mammifères

Les protéinases sont surtout actives dans le contenu intestinal. Les peptides peuvent en général être absorbés par l'épithélium intestinal, l'hydrolyse finale des protéines serait intracellulaire grâce à l'action de peptidases présentes dans les cellules elles mêmes.

Certaines protéines comme la kératine, le collagène résistent à l'action de la trypsine. Des enzymes spéciaux sont produits par certains insectes qui se nourrissent de peau, de tissu conjonctif ou de produits tégumentaires. L'absorption des acides aminés est très rapide au niveau des caecums et du mésentéron chez *Schistocerca* et *Periplaneta*.

2/ Aliments glucidiques :

Les insectes. Pour la plupart, sécrètent des invertases, enzymes capables d'hydrolyser les carbohydrates les plus simples tels que le saccharose, le maltose. Ils produisent également des amylases qui dégradent les polysaccharides de réserve des plantes (amidon) ou des animaux (glycogène). D'autres carbohydrates moins fréquentes (cellulose et la chitine) ; des chitinase ont été identifiées chez différentes espèces d'insectivores comme les Libellules. De nombreux insectes sont xylophages, mais seul quelques- un d'entre eux (larve de Cérambycidé, Anobiidé) synthétisent eux-mêmes une cellulase. Les autres espèces capables d'utiliser la cellulase, possèdent des symbiontes intestinaux et ce sont ces derniers qui sont responsables de l'hydrolyse de la cellulose.

3. Aliments lipidiques

De nombreux insectes produisent des lipases qui hydrolysent les graisses alimentaires en acides gras et en glycérol. Les lipides sont absorbés au niveau des caecums gastriques et de la région antérieure du mésentéron. Comme pour les sucres, la vidange du jabot règle le prélèvement des acides gras. Les cellules qui accumulent les matériaux lipidiques représentent les principaux sites d'absorption. Ainsi, les graisses seraient prélevées dans la moitié antérieure du mésentéron chez *Aeides*, dans la région moyenne chez les larves de *Culex*. Il a été suggéré un passage de lipides émulsionnés vers l'hémolymphe à travers les espaces intracellulaires.

IV. Physiologie de l'absorption

Les produits de digestion sont ensuite absorbés principalement au travers du mésentéron, cependant l'absorption des sels minéraux et de l'eau a lieu également à travers du proctodeum (fig. 33). Cette absorption peut être passive ou active. L'absorption passive a lieu lors de l'établissement par l'organisme d'un gradient de concentrations de l'intérieur vers l'extérieur du tube digestif, la diffusion allant de la plus forte à la plus faible concentration. L'absorption active dépend d'un processus métabolique luttant contre le gradient de concentrations via une pompe ATPase dont, par exemple, le mouvement du potassium est couplé avec celui des acides aminés, permettant leur incorporation dans les cellules. L'eau est absorbée à la fois par le mésentéron via les aliments et ensuite par le rectum via les excréments avant leur sortie au de l'anus. Son processus d'absorption au niveau du mésentéron dépend de l'établissement d'un gradient osmotique au travers de l'épithélium par éjection ionique dans le lumen.

Inversement, au niveau du rectum, une pompe ATPase membranaire produit l'énergie nécessaire pour faire entrer les ions et les acides aminés dans les cellules, créant ainsi une augmentation de la pression osmotique et induisant en même temps l'incorporation de l'eau dans les cellules.

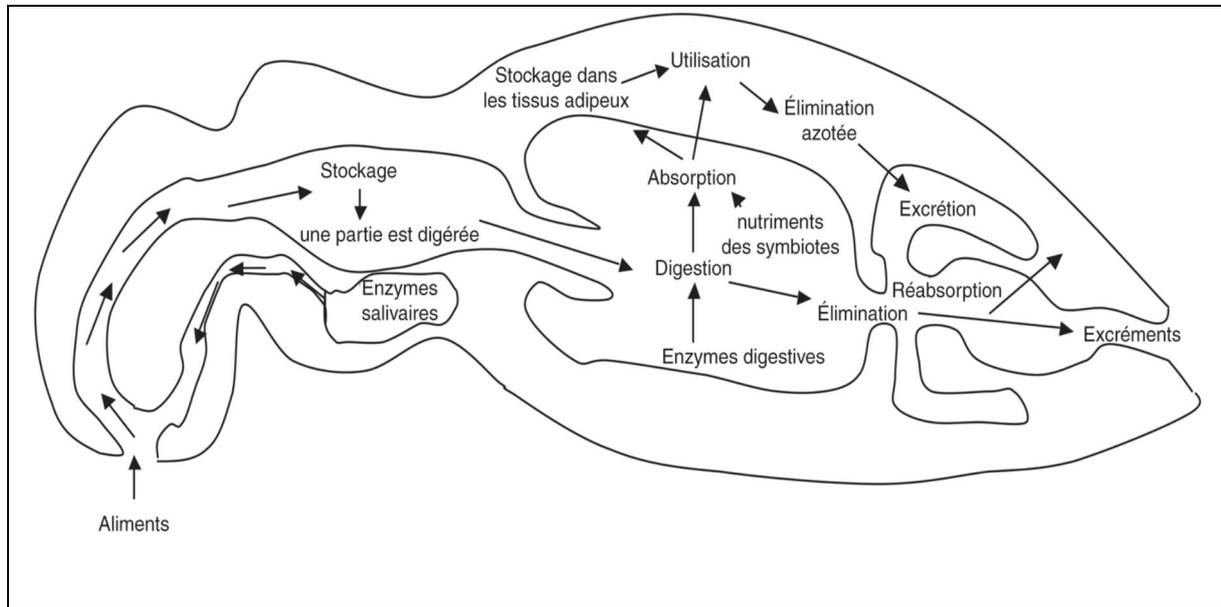


Figure 33 – Vue schématique du trajet des nutriments et de leurs déchets chez les insectes

Les nutriments quant à eux sont principalement absorbés à travers de l'épithélium du mésentéron. Les acides aminés diffusent à travers l'épithélium grâce à un gradient de concentrations. Cependant, à faibles concentrations dans le lumen, un système de transport membranaire (spécifique à chaque acide aminé) couplé à un mouvement de cations (généralement de potassium) assure l'incorporation des acides aminés dans les cellules épithéliales. Les acides aminés font également partie de l'urine excrétée par les tubes de Malpighi. Consécutivement, ils arrivent en quantités non négligeables dans le proctodeum où ils sont réabsorbés à travers de l'épithélium rectal via par exemple un système de co-transport sodium dépendant, comme celui connu chez les criquets. Les sucres sont absorbés principalement sous forme de monosaccharides. Dans la plupart des cas, ils sont absorbés passivement par gradients de concentrations. Le glucose, par exemple, est si rapidement converti en tréhalose dans les tissus adipeux entourant le tube digestif que sa concentration dans l'hémolymphe est stable. Il en est de même pour fructose, mais de façon plus lente. Les lipides sont quant à eux absorbés sous forme d'acides gras et véhiculés dans l'hémolymphe

par un système de lipoprotéines assez analogue à celui prévalant chez les mammifères, mais transportant phospholipides et diacylglycérides (au lieu des triglycérides chez les mammifères) jusqu'au corps gras. Enfin, les ions inorganiques comme le sodium et le calcium sont absorbés à travers du mésentéron et du rectum.

V. Micro –organisme et tube digestif :

Les micro-organismes sont ingérés lors de la prise de nourriture, et une flore intestinale est donc présente pour la plupart des insectes. Les Sauterelles, par exemple, ont un tube digestif plutôt stérile à l'éclosion, mais rapidement elles acquièrent une flore bactérienne qui augmente en nombre et diversité au cours de leur vie. Cette acquisition lors de la prise de nourriture est fortuite et dans de nombreux cas la flore digestive n'intervient pas dans la nutrition de l'insecte mais reflète tout simplement la microflore présente à la surface des plantes hôtes ou à l'environnement dans lequel vit l'insecte. Dans d'autres cas, la flore digestive intervient intensément dans la nutrition de l'insecte. Les criquets, par exemple, possèdent des bactéries dans le proctodeum leur permettant de digérer des polysaccharides de plantes comme la pectine... Ces bactéries leur procurent même des acides gras à chaînes courtes. On peut citer également le cas des larves de Scarabéidés, qui peuvent digérer la cellulose dont ils se nourrissent via leurs bactéries digestives. C'est le cas de certains termites, dont la flore digestive leur permet en plus de fixer l'azote atmosphérique.

CHAPITRE IX

L'EXCRÉTION- OSMORÉGULATION

Généralités :

Les appareils excréteurs ont pour fonction de maintien d'un milieu interne relativement-constant, permettant les activités cellulaires .ils donc à assurer d'une part l'élimination, en particulier des produits azotés toxiques qui dérivent du catabolisme des protéines, d'autre par la constance de la composition ionique de l'hémolymphe. L'ingestion d'eau, de sels, de protéines varie selon les insectes et pour un même insecte au cours de la vie. Certains insectes vivent dans des conditions xériques et les pertes doivent être réduites à l'extrême .d'autres vivent en eau douce une élimination continue d'eau est indispensable pour préserver la concertation optimale dans les tissu et l'hémolymphe. Les insectes des eaux saumâtres sont soumis à de larges fluctuations de salinité auxquelles ils ont dû s'adapter.

I. Les organes excréteurs

Les tubes de Malpighi sont les principaux organes excréteurs des insectes .lorsqu'ils sont absents, ils sont remplacés au oint de vue fonctionnel par les glandes céphalique chez certains Aptérygotes, par le tube digestif chez les Aphidae. Chez les Blattes des glandes accessoires de l'appareil génital mâle contribuent à l'élimination d'urates. L'accumulation de diverses substances, urates, minéraux, pigments, assez fréquente dans le corps gras, les cellules péricardiales, l'épiderme ou le tube digestif peut être contribue au phénomène d'excrétion.

I-A. Les tubes de Malpighi

Les tubes de Malpighi sont presque universellement présents chez les insectes et seuls les Collembolés, les Diploures du genre *Japy*, les Aphidiens et les Strepsiptères à l'état imaginal en sont dépourvus. Ce sont de fin tube aveugles, baignant dans l'hémolymphe et insérés au tube digestif à la jonction entre le mésentéron et le proctodeum (fig. 34). Leur extrémité distale est généralement libre, mais chez certains insectes, elle s'applique étroitement au proctodeum. Cette disposition nommé cryptonéphridisme s'observe chez quelque Homoptères et chez de nombreux Holométales en particulier les larves de Lépidoptères et les larves de Coléoptères (fig.35 A).

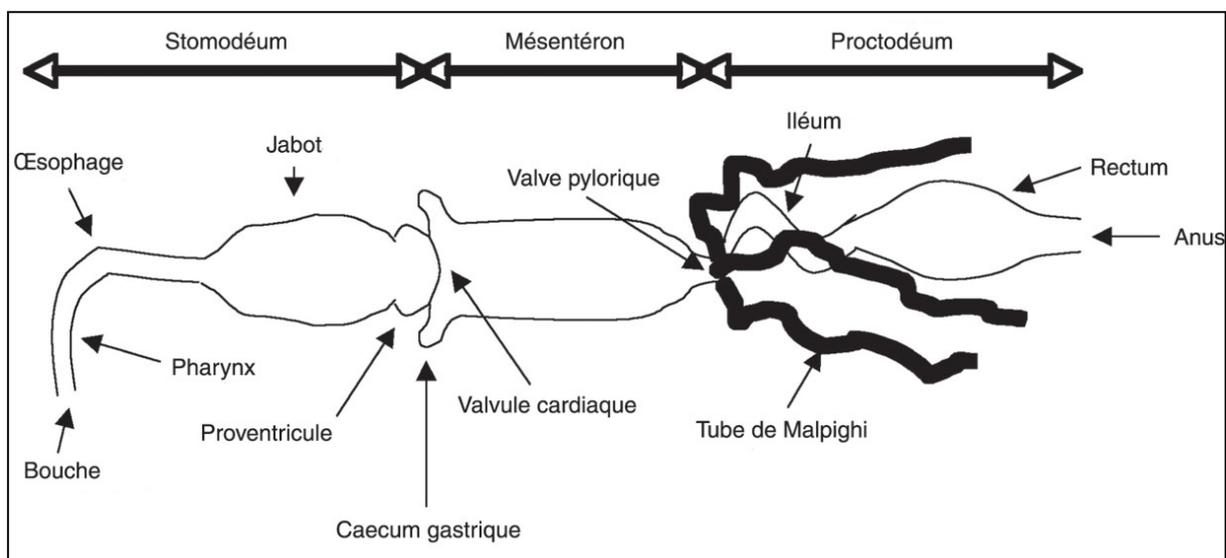


Figure 34 : Position des tubes de Malpighi dans le tube digestif.

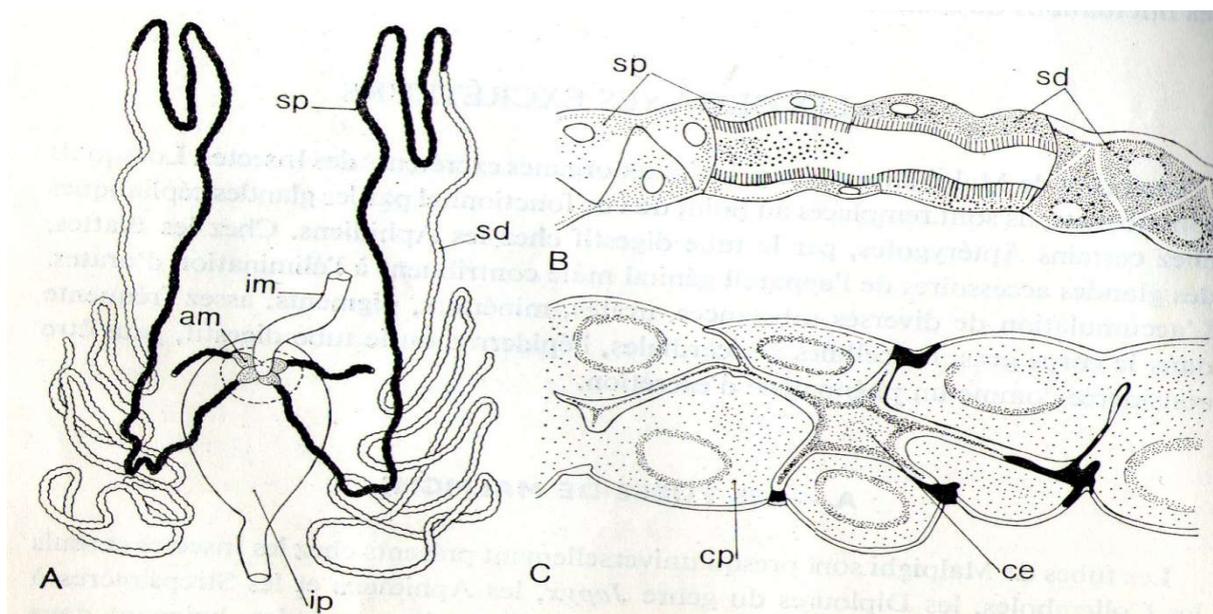


Figure 35 : Appareil excréteur de *Rhodnius*- B : jonction du segment proximal et distal d'un tube de Malpighi chez *Rhodnius*, C : tube de Malpighi de *Calliphora*. Am : ampoule, ce : cellule étoilée, cp : cellule : principale, im : intestin moyen, ip : intestin postérieur, sd, sp : segment distal et proximal.

Chaque tube de Malpighi présente deux régions distinctes : une distale claire, l'autre proximale opaque ce qui manifeste une spécialisation physiologique (fig. 35 C). Les tubes de Malpighi s'unissent par groupe de 2 ou 3 et peuvent déboucher dans une ampoule commune qui les fait communiquer avec le proctodeum. Quant ils sont très nombreux, ils se groupent en paquet. La paroi des tubes est formée par une couche épithéliale unicellulaire (fig. 35 B), les cellules de grandes taille reposent sur une lame basale un revêtement musculaire continue peut exciter ; les tubules sont alors capable de mouvements de torsion ce qui leur assure un maximum de contact avec l'hémolymphe et améliore la circulation. Les tubes de Malpighi, chez certaines espèces, ont une structure uniforme avec souvent deux types des cellules entremêlées sur toute leur longueur : des cellules sécrétrices typiques et de cellules plus petites à bordure en brosse réduite ou absente cellules étoilé des tubes de Malpighi chez *Calliphora*. Chez d'autres insectes, plusieurs régions peuvent être distinguées par leur différence cytologique chez *Rhodnius*, le segment distal, sécréteur, est caractérisé par des cellules à plateau strié, le segment proximal, absorbant, par des cellules à bordure en brosse.

La cellule sécrétrice typique des tubes de Malpighi possède des caractères ultra structuraux associés à un rôle de transport d'eau et de substances solubles (fig.36). La membrane plasmique basale s'invagine en replis plus au moins profond et la membrane apicale produit une série de microvillosité du côté de la lumière, ces modifications augmentent considérablement la surface à travers laquelle les matériaux peuvent passer de l'hémolymphe vers la cellule et de la cellule vers la lumière malpighienne. Chez certains insectes, Hémiptères et Lépidoptères, les phénomènes de réabsorption commencent dans le segment distal, pourvu de cellule à bordure en brosse avec des microvillosités nettement séparées les unes des autres et ils s'achèvent au niveau du rectum. Pour les autres insectes, la réabsorption d'eau, d'ions, est réalisée uniquement par les cellules rectales.

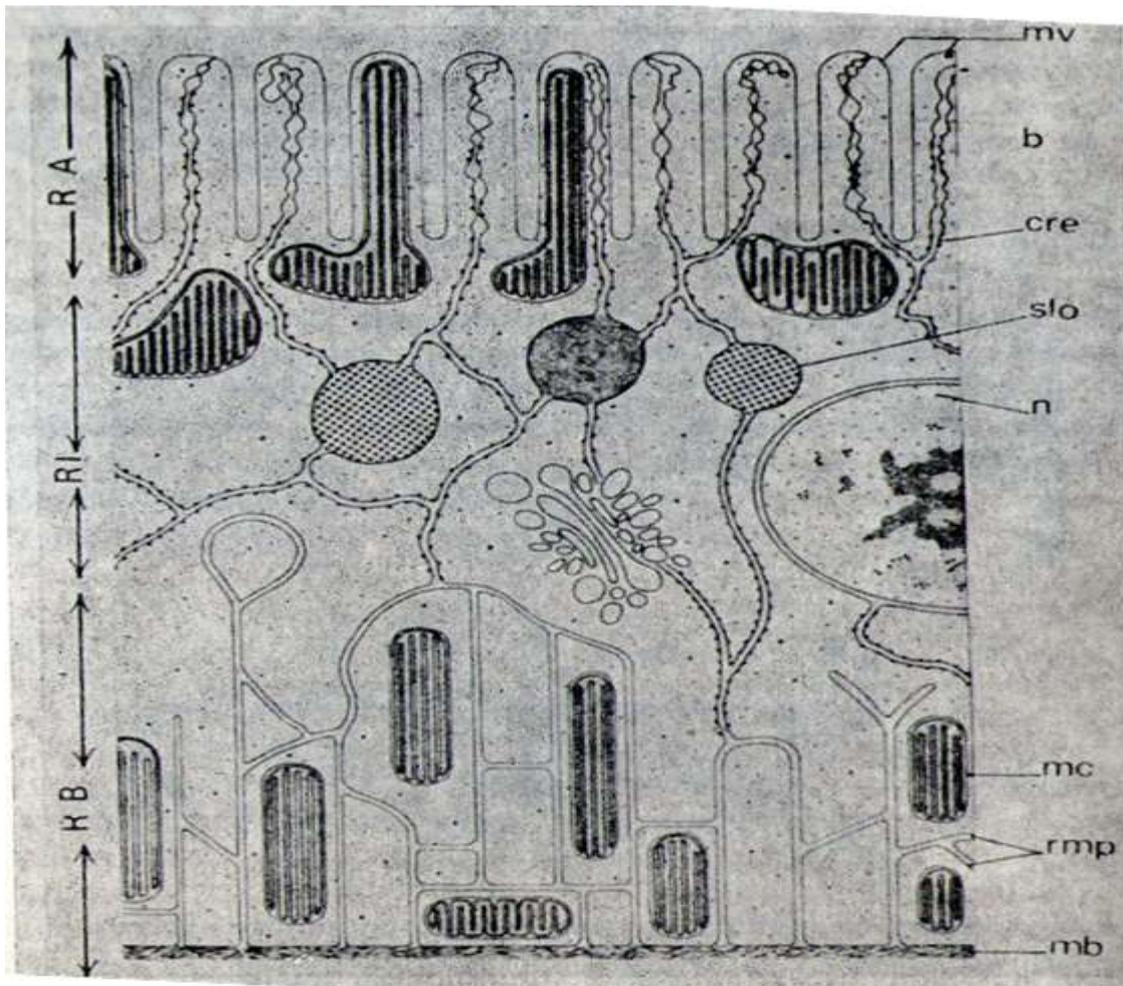


Figure 36 : Représentation schématique d'une cellule Malpighienne de larve de *Drosophila melanogaster*
 RA : région apicale, RB : région basal, RI : région intermédiaire, b : bordure en brosse du réticulum endoplasmique, mb : membrane basale, mc : mitochondrie, mv : microvillosité avec canal, n : noyau, rmp : replis de la membrane plasmique basale, slo : stockage de lipides

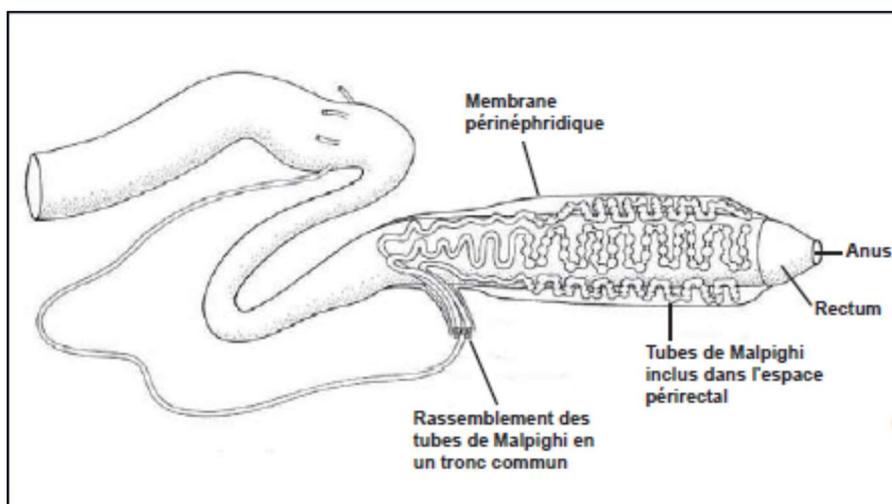


Figure 37 : Cryptonéphridisme des tubes de Malpighi

- **Les reins labiaux :** Chez les Collemboles, les thysanoures et les Diploures, les glandes labiales sont très comparable aux glandes antennaires ou reins céphaliques des Crustacés Décapodes, qui ont un rôle excréteur. Ces glandes ou reins labiaux comprennent un saccule terminal formé d'un épithélium aux cellules aplaties, un labyrinthe, long tube enroulé dont les cellules ont les même caractéristique que les cellules des tubes de Malpighi.

II. Physiologie de l'excrétion :

Les produits terminaux de l'activité métabolique tendent à s'accumuler dans l'hémolymphe, parmi eux, le CO₂ peut s'échapper facilement par diffusion gazeuse à travers la cuticule ou par le système trachéen, les autres produits comme les produits azotés sont éliminés par les tubes de Malpighi; l'excrétion et osmorégulation sont deux étapes qui impliquent la sécrétion d'une urine primaire par les tubes de Malpighi et ensuite une réabsorption d'eau et d'ions ou de molécules par le rectum

II-1. Substances excrétées

II-1-1. Les catabolites azotés : sont les principales substances qui doivent être éliminées pour la plupart d'insectes, la majeure partie de l'azote est excrétée sous forme d'acide urique, et l'urate. L'acide urique et les urates peuvent s'accumuler sous forme de sphérules dans différents tissus, dans le tube digestif, l'épiderme, mais surtout dans le tissu adipeux, soit dans les trophocytes, soit dans les cellules à urates, cette accumulation est souvent transitoire ; les urates repassent dans l'hémolymphe avant d'être éliminés par les tubes de Malpighi. L'acide urique et les urates très peu solubles peuvent être rejetés avec une perte minimale d'eau. Certains insectes peuvent excréter des produits de décomposition de l'acide urique, l'allantoïne et l'acide allantoïque, Les enzymes nécessaires, l'uricase et l'allantoïnase sont présents dans les tubes de Malpighi, chez diverses espèces *Gryllus*, *Calliphora*. De nombreux insectes excrètent également de petites quantités d'urée. Des insectes aquatiques, de même que les larves de plusieurs Diptères, excrètent l'excès d'azote sous forme d'ammoniaque. L'ammoniaque très toxique ne peut être éliminée que dans une urine abondante, très diluée.

II-2. Élaboration de l'urine

II-2-1. Formation de l'urine primaire dans les tubes de Malpighi :

La sécrétion de l'urine primaire est un processus actif, nécessitant l'hydrolyse d'ATP comme source d'énergie, de l'ATPase est présente dans les régions basales et apicales des cellules

Malpigiennes chez *Calliphora erythrocephala*, cette énergie est utilisée pour pomper les ions K^+ de l'hémolymphe vers les cellules et de celle-ci vers la lumière des tubes, cette sécrétion active de K^+ joue un rôle fondamental car elle détermine le flux urinaire. L'entrée des ions K^+ dans la cellule Malpigienne et leur sortie créent en effet des gradients de concentration, l'eau est ainsi entraînée par filtration osmotique à travers la membrane basale, puis hors de la cellule, les molécules de petite taille : acides aminés, sucres, urée, sont transportées passivement. Les tubes de Malpighi sécrèteraient l'acide urique sous la forme des sels de potassium ou de sodium plus solubles

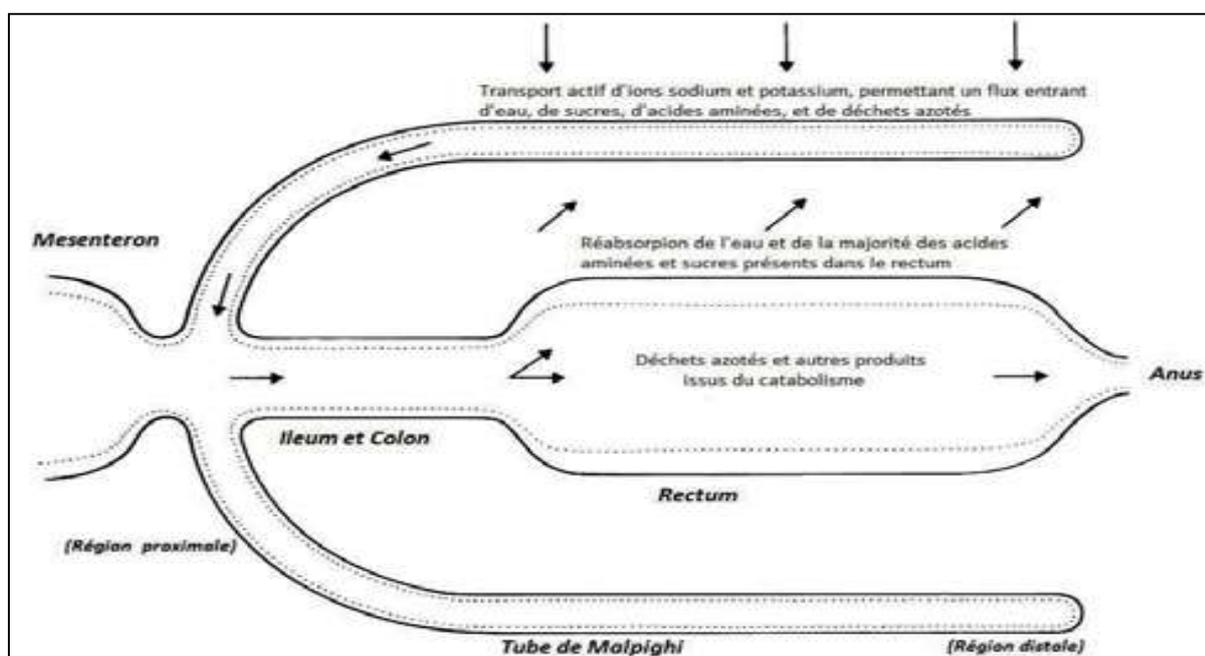


Figure 38 : fonctionnement des tubes de Malpighi.

II-3. Phénomène de réabsorption et élaboration de l'urine secondaire

Chez de nombreux insectes, les phénomènes de réabsorption débutent dans les parties proximales des tubes de Malpighi et se poursuivent dans le rectum, (fig. 39) chez d'autres espèces, ils s'effectuent dans le proctodeum et plus spécialement dans les papilles rectales. La composition de l'urine secondaire rejetée par les insectes est très différente de celle de l'urine primaire : chez *Carausius sp.* (Phasmatodea), la concentration osmotique du liquide rectal est 2 à 3 fois plus élevée que l'urine primaire dans les tubes de Malpighi, la majeure partie de l'eau étant reprise ; de même 80% du potassium et 95% du sodium sont réabsorbés au niveau du rectum. La composition et la consistance de l'urine secondaire dépendent énormément du milieu dans lequel vit l'insecte et de la quantité d'eau absorbée dans ses

aliments. Ainsi pour *Rhodnius sp.* (Hétéroptère, Réduviidé), immédiatement après la prise de sang, il y aura production d'une urine liquide pour éliminer l'excès d'eau (le phénomène de diurèse), et il y aura ensuite rejet d'une urine qui deviendra peu à peu solide et sèche. Au niveau des papilles rectales, la réabsorption de l'eau est associée à un transport actif d'ions depuis les cellules tapissant l'intérieur des papilles rectales vers les espaces situés entre ces cellules. Cela permet ainsi une augmentation de la pression osmotique dans ces espaces, permettant d'amener un flux d'eau provenant du rectum. Les ions prélevés dans le cytoplasme des cellules sont remplacés par des ions venant du rectum ou directement prélevés de l'hémolymphe. Il y a donc récupération d'eau malgré l'augmentation progressive de la pression osmotique du contenu rectal. Divers ions (surtout alcalins comme le sodium ou le potassium...), ainsi que presque tous les acides aminés sont réabsorbés. Dans la lumière, le retrait de l'eau et des ions alcalins aboutit à une acidification du fluide rectal, ce qui provoque la précipitation de l'acide urique sous forme de cristaux sphériques. Ceux-ci se déverseront dans le proctodéum pour être finalement expulsés par l'anus avec les fèces.

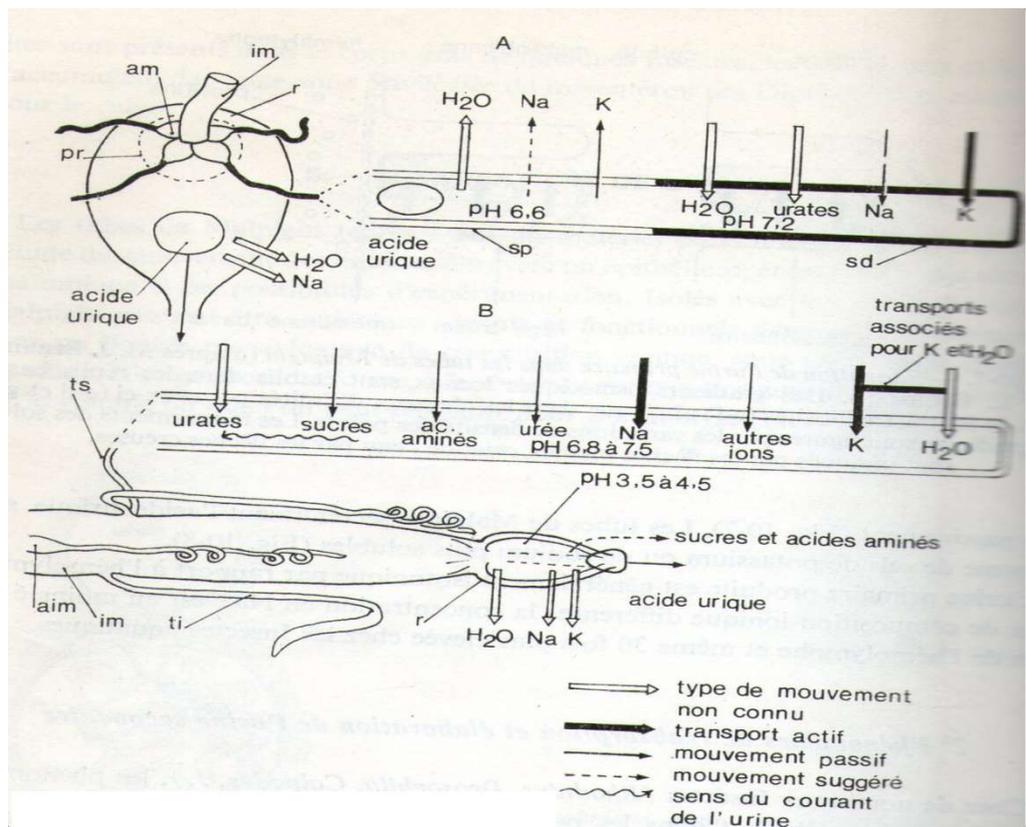


Figure 39 : Mouvements de l'eau et d'ions dans l'appareil excréteur de *Rhodnius* (A) et de *Carausius* (B), aim : appendice de l'intestin moyen, am : ampoule du tube de Malpighi, im : intestin moyen, pr : papille rectale, r : rectum, sd et sp : segments distal et proximal du tube de Malpighi, ti et ts : tubes de Malpighi inférieur et supérieur

III. Contrôle endocrine de l'excrétion :

L'excrétion est sous le contrôle de facteurs neuro-endocrines, ce qui permet sa régulation en fonction des besoins de l'organisme en eau et en sels. Des tubes de Malpighi isolés mis dans de l'hémolymphe d'insectes nourrit, produisent une urine beaucoup plus abondante que des tubes de Malpighi placés dans l'hémolymphe d'insectes jeun. Une hormone diurétique est synthétisée par deux groupes de cellules neurosécrétrices, situés dans la partie postérieure de la masse ganglionnaire mésothoracique, sa libération est provoquée par la distension de l'abdomen après le repas, distension qui stimule des récepteurs de tension abdominaux. L'existence d'hormone diurétique semble être générale chez les insectes, un facteur diurétique peut être extrait des cellules neurosécrétrices du cerveau et de corpora cardiaca chez *Calliphora*, *Schistocerca gregaria*, ou *Locusta migratoria*.

Des facteurs antidiurétiques sont présents dans l'hémolymphe de *Periplaneta*, chez *Schistocerca*, *Locusta*, un principe antidiurétique a été extrait des corpora cardiaca et des organes périsympathiques. L'hormone antidiurétique stimule la réabsorption d'eau au niveau du rectum.

CHAPITRE X

LE CORPS GRAS

Généralités :

Le corps gras ou tissu adipeux est le siège de nombreux métabolisme et il assure un rôle primordial dans la physiologie des insectes, il intervient de façon prépondérante dans le métabolisme intermédiaire en même temps qu'il sert d'organe de stockage de glucides, de protéines aussi bien que des lipides, les déversant dans l'hémolymphe selon les besoins. Il est donc souvent comparé au foie des Vertébrés. Le corps gras peut également réaliser des processus de détoxification vis à vis de divers produits toxiques, de certains insecticides. Il accumule souvent des déchets ou certains sels minéraux.

I. Aspects anatomiques et cytologiques

Il est particulièrement développé dans les larves d'Holométaboles, occupant la grande partie de la cavité générale ; il représente 50% du poids total des larves âgées de *Calliphora* et jusqu'à 65% du poids à la fin de la vie des larves d'*Apis mellifera*

le corps gras forme des masses plus ou moins irrégulièrement lobées, des bandes, des couches souvent fenêtrées, chez *Aleurodes*, ses cellules peuvent être séparées les unes des autres, flottant librement dans l'hémolymphe, ainsi, il y a le maximum de surface d'échange entre ce tissu et le milieu dans lequel il baigne, tandis que le nombreux trachéole qui pénètrent entre les cellules favorise les échanges respiratoires. Une fine enveloppe conjonctive entoure les lobes du corps gras, assurant leur individualité tout en permettant les échanges avec l'hémolymphe (fig. 40).

Selon les espèces, le corps gras est constitué d'un seul ou plusieurs types de cellules :

- 1- **Trophocytes** : Appelés parfois adipocytes, représentant l'élément fondamental du corps gras. Ils accumulent des réserves et leur aspect varie fortement au cours de la vie de l'insecte ; Pendant la vie larvaire active période d'alimentation, les trophocytes 'accroissent et se chargent de réserves lipidiques, protéiques et de glycogène.
- 2- **Cellules à urates** : L'acide urique ou ses sels peuvent s'accumuler sous forme de sphérocristaux soit dans les trophocytes ou dans les cellules à urates
- 3- **Les Mycétocytes** : Qui contiennent des microorganismes symbiotiques font souvent partie du corps gras, le cytoplasme de mycétocytes, plus ou moins abondant, peut

renfermer de grande gouttelettes lipidiques, des amas de glycogène, les symbiontes sont logées dans une cavité limitée par une membrane.

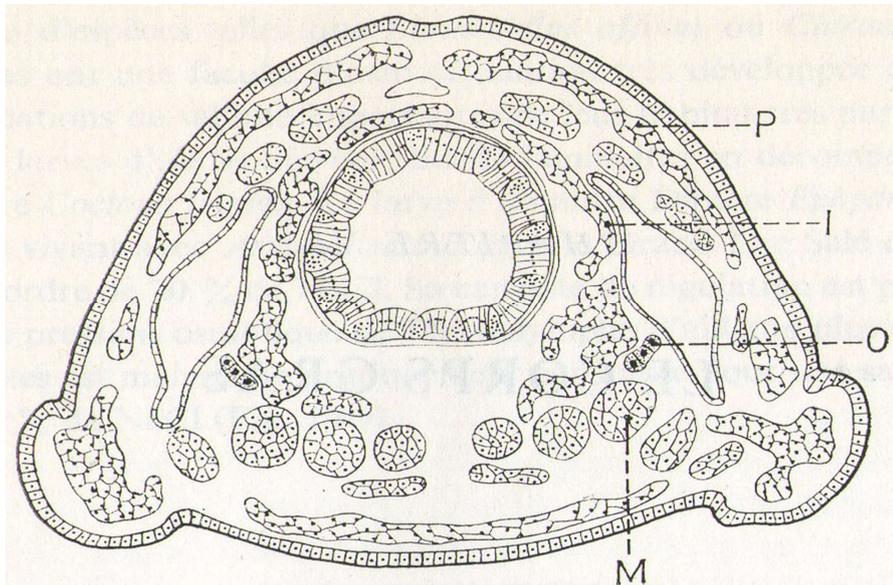


Figure 40 : Répartitions du corps gras périphérique (P) et du corps gras interne (I) dans l'abdomen d'une larve de *Dytiscus*.

II. Activités métaboliques du corps gras

Bien que d'autres éléments cellulaires puissent être impliqués dans le métabolisme intermédiaire comme les cellules péricardiales et les oenocytes, le corps gras reste l'agent primordial des transformations aussi bien des glucides, des lipides que des acides aminés et des protéines

II-A. Métabolisme des glucides

Le glycogène est la forme essentielle de mise en réserve et se trouve stocké dans le corps gras, même s'il est également présent dans les muscles du vol, les cellules intestinales. La quantité de glycogène varie largement selon le stade, l'état nutritionnel et les besoins énergétiques de l'insecte. La synthèse du glycogène dans le corps gras se fait par la voie de l'uridine diphosphate glucose (UDPG). Le glucose d'origine alimentaire amené par l'hémolymphe se condense avec une molécule d'uridine triphosphate (UTP) pour former l'UDPG ; il y a ensuite transfert enzymatique des résidus de glucose de l'UDPG aux extrémités de la chaîne de glycogène. En formation, une certaine synthèse de glycogène peut également se faire sous

l'action de la phosphorylase (fig. 41). Le sucre prédominant dans l'hémolymphe des insectes est le tréhalose, le corps gras est le principal site de la synthèse du tréhalose, le corps gras peut en effet de convertir le glucose de tréhalose par la même voie métabolique. Le glucose prélevé par le corps gras donne naissance au glucose 6- phosphate. Celui-ci réagit avec l'UDPG qui sert de donneur du glucose pour produire le Tréhalose 6 – phosphate, le tréhalose – 6 phosphate est ensuite déphosphorylé par une phosphorylase spécifique. Le tréhalose constitue véritable réserve énergétique circulante.

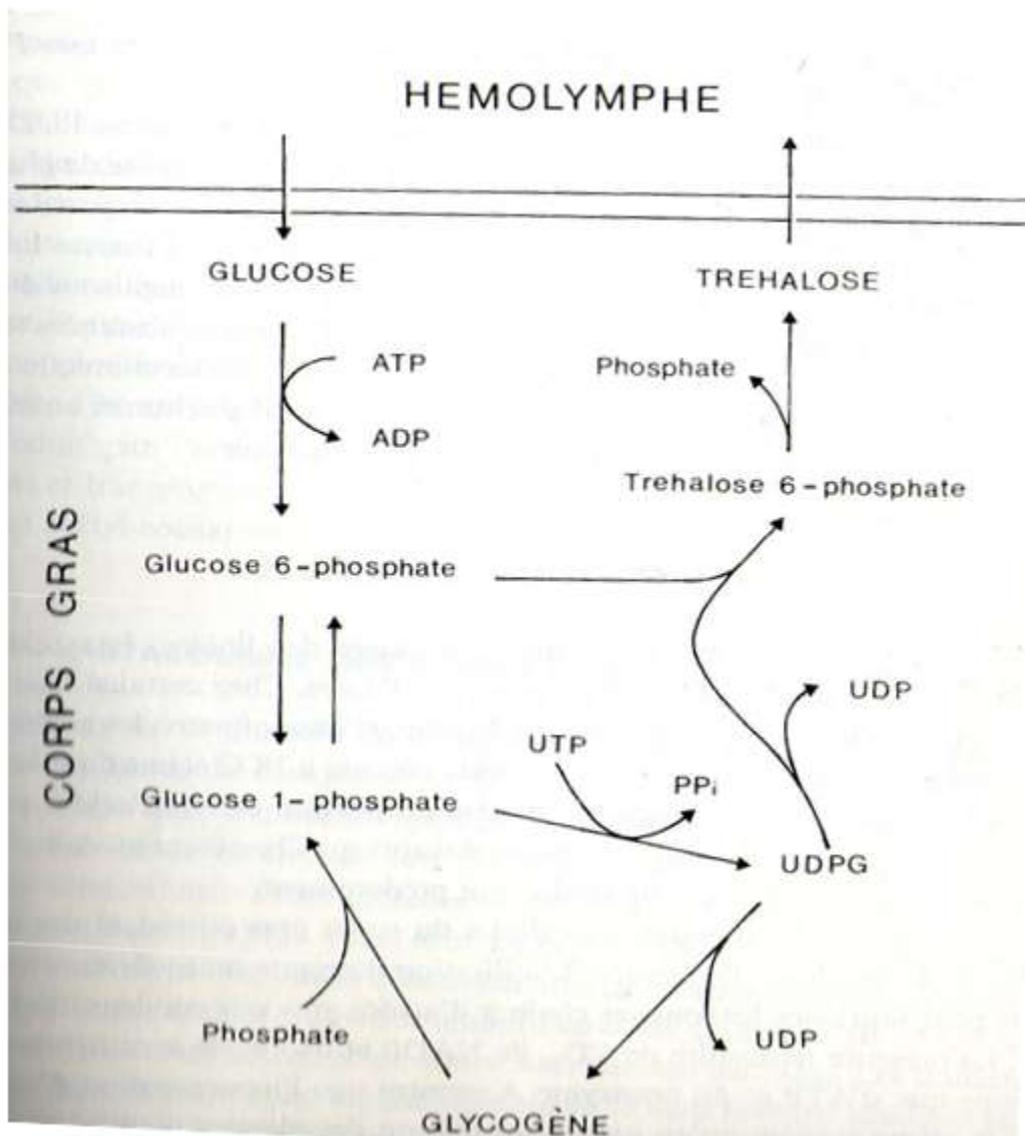


Figure 41 : Métabolisme des carbohydrates dans le corps gras

II-B. Métabolisme des lipides :

Les triglycérides représentent la forme de stockage des lipides. Les acides gras qu'ils renferment varient beaucoup d'un groupe à l'autre, le corps gras peut fabriquer de longue chaîne d'acides gras par condensation répétée d'acétate se fait selon le même schéma qu'au niveau du foie au les glande mammaires des mammifères, les lipides du corps gras représentent une réserve énergétique qui peut être mobilisé rapidement l'ors d'un jeûne ou pour assurer une activité musculaire, chez *Schistocerca*, les 2/3 de l'énergie dépensée pendant un vol prolongé proviennent du catabolisme des lipides. Des Lipases sont localisés sur les gouttelettes lipidiques et catalysent l'hydrolyse réversible des triglycérides, elles rompent les liaisons ester des glycérides pour former des acides gras et du glycérol. Les acides gras diglycérides libérés dans l'hémolymphe circulent en étant liés à des protéines spécifiques.

II- C. Métabolisme des acides aminés et des protéines :

Le corps gras est un site actif du métabolisme intermédiaire des acides aminés. Le corps gras des larves de *Callihpora erythrocephala* contient une grande quantité de *tyrosine*, qui sera libérée ultérieurement dans l'hémolymphe pour la sclérotinisation et la mélanisation de la cuticule lors de la formation du piparium, lorsque des symbiontes intracellulaire sont présents, ils peuvent contribuer à la synthèse d'acides aminés au sein du corps gras, mais chez les espèces sans Mycétocytes, le corps gras peut réaliser lui-même la synthèse d'acides aminés au sein du corps gras. L'accumulation de protéines dans le corps gras est manifeste au cours de la vie larvaire pour une utilisation ultérieure (fig. 42), les protéines sont également stockées dans le corps gras imaginal en relation avec les cycles reproducteurs pour assurer le développement des ovocytes. Les protéines synthétisé et stockées peuvent être mises en circulation dans l'hémolymphe soit pour constituer des protéines sanguines, soit pour être véhiculées aux divers organes. Chez les femelles adultes le corps gras et la principal source des protéines qui sont incorporés dans l'ovocyte pendant la vitellogen⁷se ; en particulier, il synthétise les protéines femelles ou vitellogénines qui libérées dans l'hémolymphe, sont ensuite prélevées de façon sélective par les ovocytes

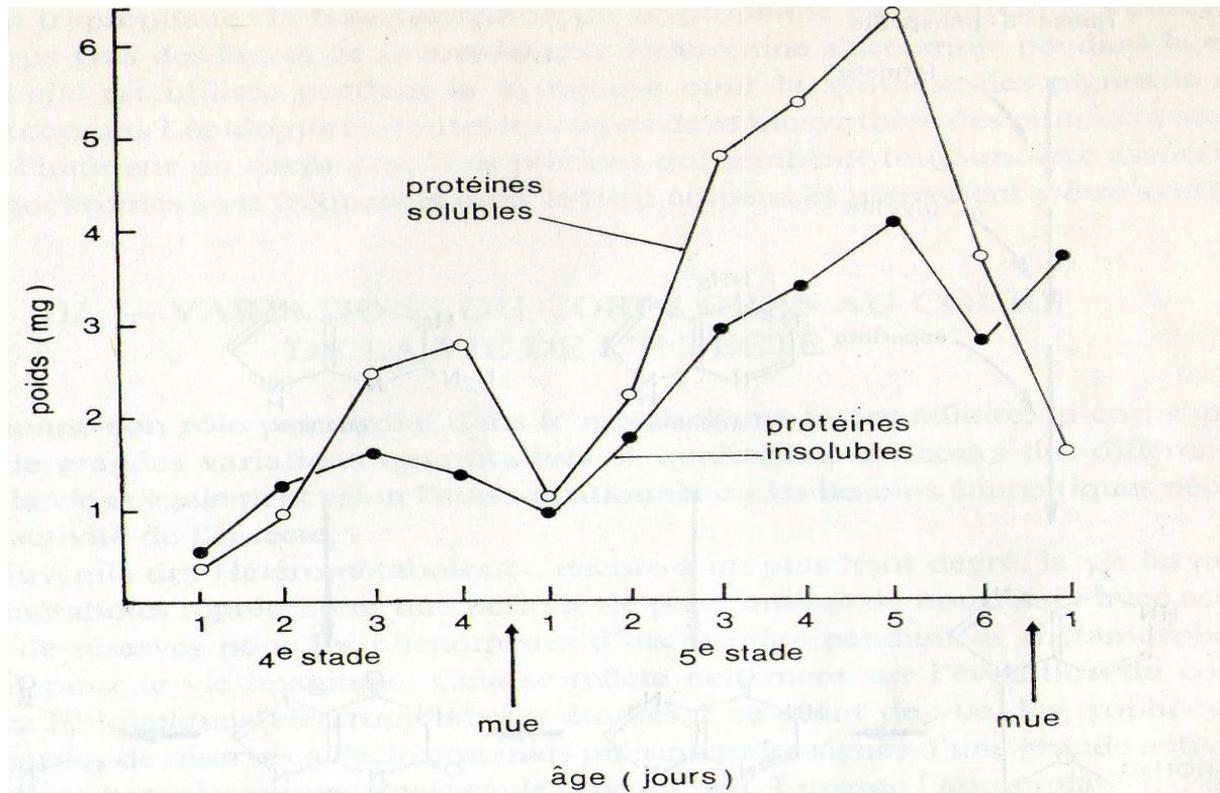


Figure 42 : teneur du corps gras en protéines solubles et en protéines insolubles chez les larves des 4^{èmes} et 5^{èmes} stades larvaires de *Locusta*.

III. Contrôle hormonal de l'activité du corps gras

Les synthèses et la libération des substances élaborées dans l'hémolymphe sont soumises à un certain contrôle endocrine ou neuroendocrine

- Des hormones hyperglycémiques ont été identifiées chez de nombreux insectes, chez *Periplaneta* deux hormones hyperglycémiques sont libérées par le corpora cardiaca, elles agissent au niveau du corps gras en activant le système enzymatique de la phosphorylase, elles permettent ainsi la scission du glycogène et la production de tréhalose
- Divers mécanisme endocrine règlent le métabolisme des lipides, les corpora allata agissent en mobilisent les réserves lipidiques du corps gras, le lobe glandulaire des corpora cardiaca des Criquets produit également une hormone qui augmente le taux des triglycérides de l'hémolymphe aux dépens des triglycérides du tissu adipeux.
- Pendant la vie larvaire l'hormone de mue pourrait intervenir sur l'accumulation des réserves protéiques, le β ecdysone stimule les synthèses protéiques du corps gras des larves. En fait, la régulation de la protéosynthèses dans le tissu adipeux fait intervenir différemment les hormones cérébrales et l'hormone juvénile selon les espèces, pour

un même insecte, elle peut ne pas être la même pour les différentes catégories de protéines.