

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

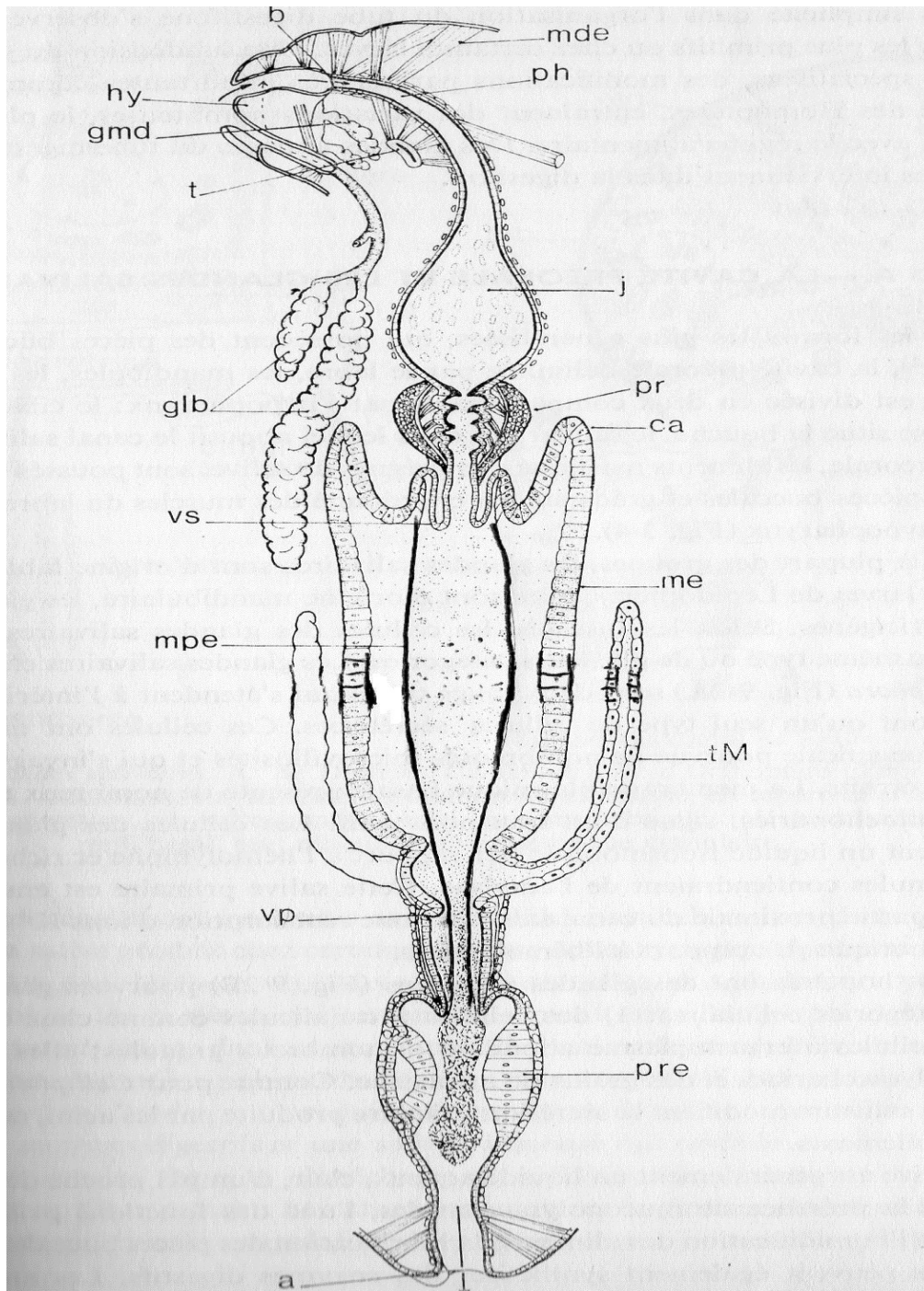


Figure 30 : structure du tube digestif d'insecte. a : anus, b : bouche, ca :ceacum, glb, gmd : glande labiale (salivaire) et mandibulaire, hy : hypopharynx, j : jabot, mde :muscle dilateur extrinsèque du pharynx, me : mésentéron, mpe :membrane péritrophique, ph : phrynx, pr : proventricule, pre : papille 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.

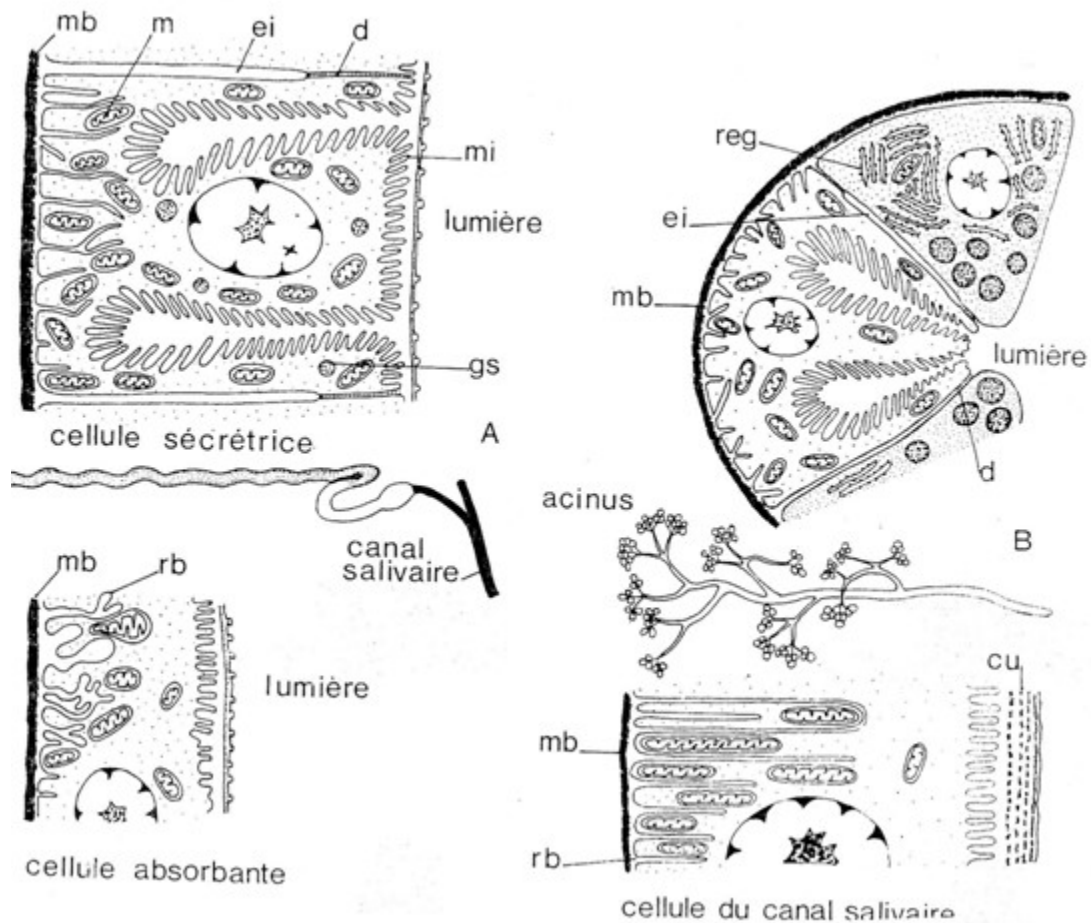


Figure 31- A : glandes salivaires de Diptère (*Calliphora*), B : d'Orthoptère, cu : cuticule, ei : espace intercellulaire, gs : granule de sécrétion, m : mitochondrie, mb : membrane basale, mi : microrvillosité, rb : repli basal, reg : réticulum endoplasmique granulaire.

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 converti 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 terminale 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.

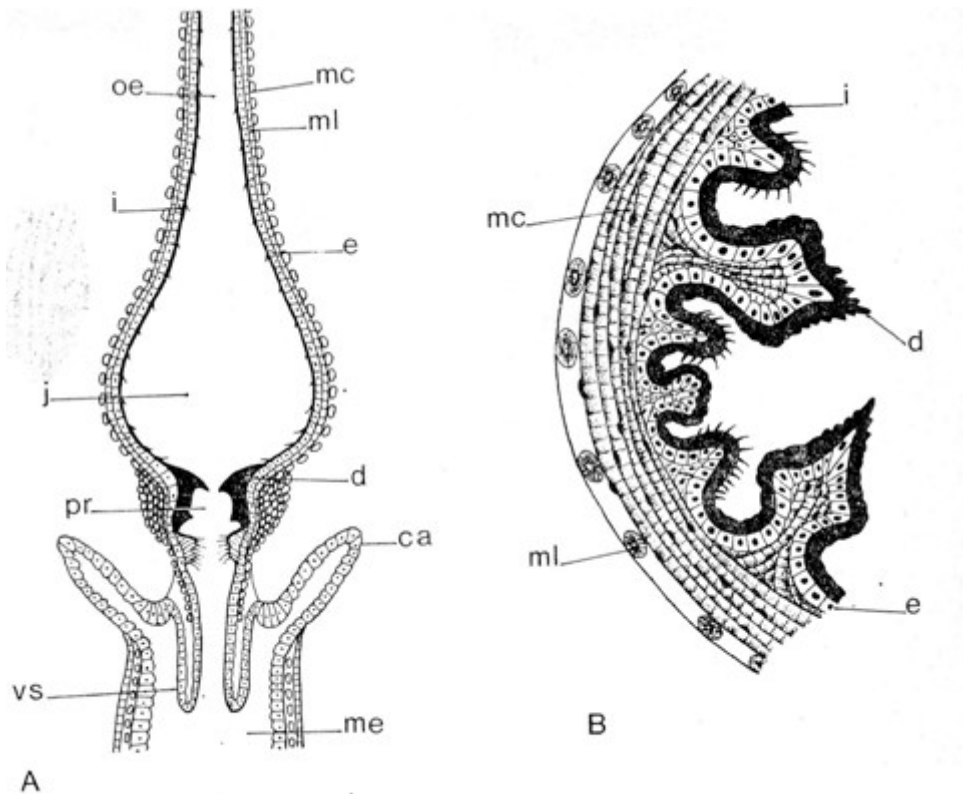


Figure 32 - A : Section longitudinale du jabot et du proventricule de *Periplaneta americana*, B : section transversale de la paroi du proventricule de *Decticus albifrons*, ca : caecum, d : denticule cuticulaire, e : épithélium, i :intima, j : jabot, mc :muscle circulaire, me : mésentéron, ml :muscle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

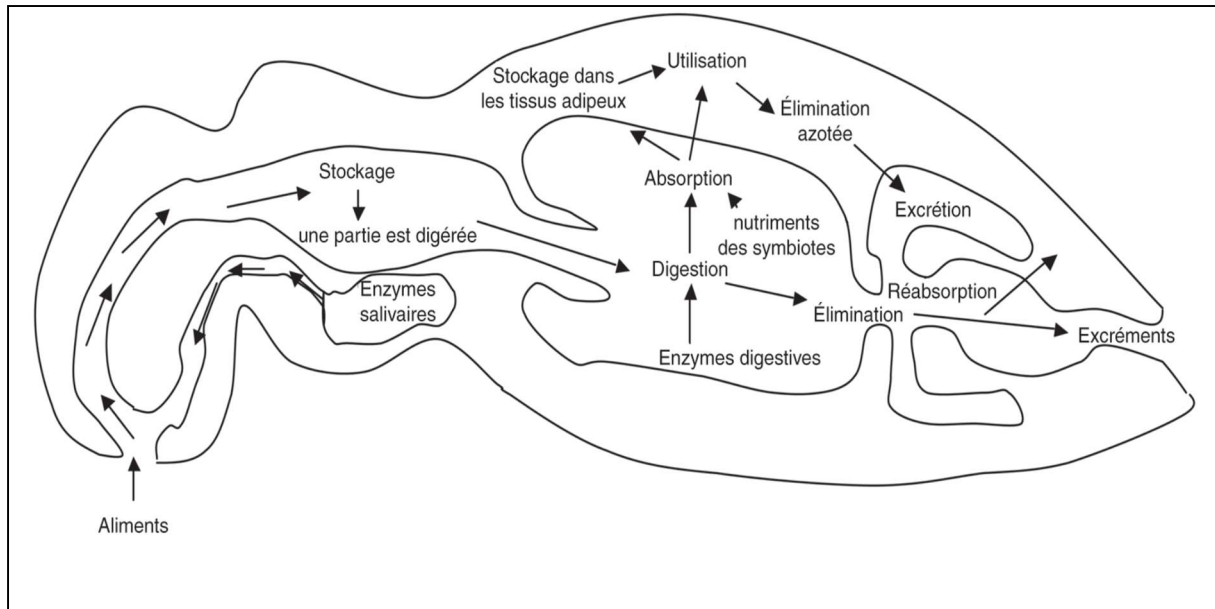


Figure 33 – Vue schématique du trajet des nutriments et de leurs déchets chez les insectes

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.