Cette unité d'enseignement destinée aux étudiants apprenants de 3 éme année Sciences Agronomiques spécialité protection des végétaux permet une connaissance approfondie des notions fondamentales des principaux bio agresseurs animaux à savoir : les Acariens, les Nématodes et enfin les principaux ordres d'insectes c'est à dire :(Orthoptères, Coléoptères, Diptères, Homoptères, Lépidoptères, Hémiptères etc…).

La connaissance de la biologie des principaux ennemis des cultures nous permet une bonne préparation aux moyens de les combattre ou de les maintenir à un niveau ou un seuil de tolérance acceptable.

Cours L3 Sciences Agronomiques (Protection des végétaux) Semstre 5 :
Principaux Bio Agresseurs Animaux .

Epidémiologie, dynamique et identification des populations de ravageurs

2.1. Epidémiologie des populations de ravageurs

2.2. Dynamique des populations de ravageurs

2.3. Biologie et identiÇcation des insectes ravageurs

2.4. Les acariens

2.5. Les myriapodes

2.6. Les nématodes phytoparasites

2.7. Les rongeurs et les oiseaux nuisibles

2.1. Epidémiologie des populations de ravageurs

L'épidémiologie se définit comme l'étude du développement d'une population de ravageurs (insectes, acariens, nématodes, rongeurs, oiseaux) au sein d'une population hôte (plantes cultivées d'une parcelle ou d'un verger).

Le commerce international et le transport aérien ont favorisé également l'introduction d'un grand nombre de ravageurs dans de nouvelles régions du monde. En l'absence d'ennemis naturels liés à ces ravageurs par une relation co-évolutive, ces derniers causent souvent dans leur nouvel habitat des dommages considérables aux cultures.

C'est pourquoi, des mesures réglementaires internationales ont été adoptées pour limiter l'extension de ravageurs potentiellement dangereux: il existe des listes (Listes A1 et A2 de l'OEPP[1], *Organisation Européenne pour la Protection des Plantes*, ou les organismes repris dans les Directives européennes[2]) d'« **organismes de quarantaine** » (ex : *Helicoverpa armigera*, en ce qui concerne les exportations de fruits et légumes vers l'Europe) pour lesquels des précautions particulières sont requises de la part des producteurs (ex : **Certificats phytosanitaires**[3] délivré par les autorités compétentes du pays exportateur).

La détection de ces organismes de quarantaine (insectes, bactéries, champignons, ...) **dans des lots de légumes peut entraîner leur destruction immédiate**. Certains organismes ne sont pas présents en Europe, d'autres sont présents en Europe mais pour limiter leur extension, la destruction des lots infestés reste obligatoire.

---

[1] *EPPO A1 and A2 Lists of pests recommended for regulation as quarantine pests as approved by EPPO Council in September 2009*, sur: http://www.eppo.org/QUARANTINE/quarantine.htm

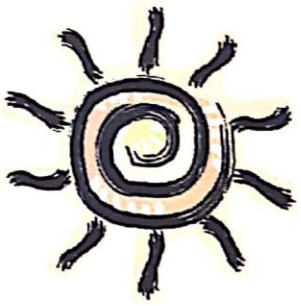
[2] Consulter les Annexes de la Directive 2000/29/CE (et sa modification Directive 2002/89/CE) concernant les mesures de protection contre l'introduction dans la Communauté d'organismes nuisibles aux végétaux ou aux produits végétaux et contre leur propagation à l'intérieur de la Communauté (J.O. L169 du 10.7.2000, p. 1).

[3] Modèle de Certificat Phytosanitaire dans l'Annexe VII de la Directive 2000/29/CE.

2.2. Dynamique des populations de ravageurs

Si certaines espèces apparaissent régulièrement chaque année, en égale quantité, il en est d'autres, par contre, qui après avoir semblé disparaître, ressurgissent brusquement pour, à nouveau se raréfier pendant une ou plusieurs années.

Le danger représenté par un ravageur dépend de l'espèce et de la plante hôte et son importance numérique est la résultante de deux groupes de facteurs antagonistes : d'une part, les **facteurs biotiques** (fécondité, nombre de générations annuelles, possibilités de développement sur les plantes hôtes de la région considérée ; d'autre part, les **facteurs abiotiques** (climat, concurrence alimentaire, ennemis tels que les parasites, les prédateurs et les maladies).



L'abondance des pluies, leur date de démarrage, leur répartition influent de manière directe sur le ravageur, ses ennemis et sur la plante. Le rôle de la température est moindre que dans les régions tempérées.

La plus ou moins grande abondance d'une espèce déprédatrice dépend donc de divers paramètres qui interfèrent et rendent souvent très aléatoires et très scabreuses les prévisions d'infestation à longue échéance.

La présence d'adventices (« mauvaises herbes ») ou de repousses, en bordure des parcelles cultivées ou même dans une culture, peut constituer un réservoir d'infestation (virus, maladies fongiques, insectes, acariens, nématodes, ...).

2.4. Les acariens

2.4.1. Caractéristiques des acariens

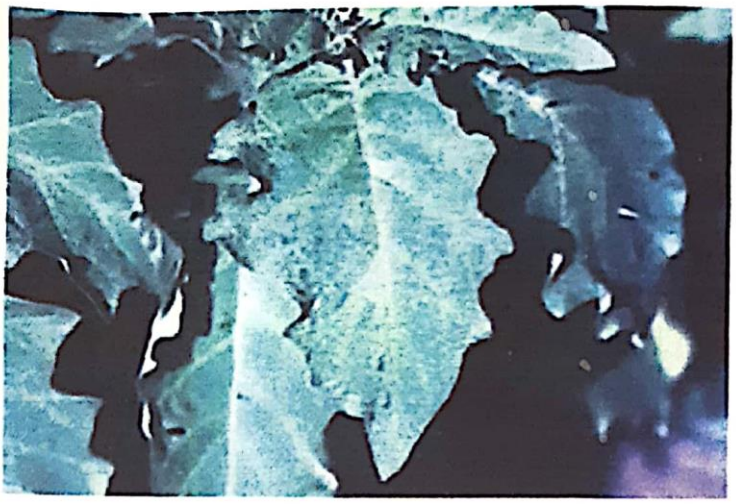
Les acariens **ne sont pas des Insectes** même s'ils appartiennent à l'embranchement des Arthropodes. Ils font partie de la classe des Arachnides. Ils possèdent généralement **quatre paires de pattes** au lieu de trois chez les insectes. Ils sont très petits (0,20-1mm de long) et souvent invisibles à l'œil nu. Ils ne possèdent **ni ailes, ni antennes** ; la tête, le thorax et l'abdomen sont fusionnés.

Leur reproduction est ordinairement sexuée : ovipare ou vivipare.

Ils possèdent un développement complexe passant parfois par 6 stades larvaires et 2-3 stades nymphaux ; leur développement est fortement favorisé par temps chaud et sec ; de fortes pluies réduisent rapidement leurs populations. Les **larves, nymphes** et **adultes sont mobiles** et se **nourrissent** en suçant le contenu cellulaire des organes attaqués entraînant des déformations, des décolorations, le brunissement des feuilles et l'affaiblissement généralisé de la plante (exemple de l'**acariose bronzée** de la tomate).

Les acariens intra-tissulaires ont souvent **une réelle importance économique**. Leur cycle est souvent compliqué et le potentiel de reproduction de ces ravageurs est très élevé en raison d'une grande fécondité.

Dégâts d'une attaque d'acariens



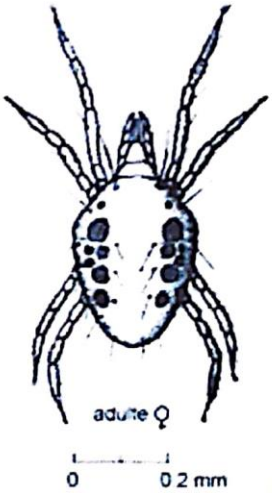
*Dé*gâts d'une attaque d'acariens

C'est au sein de trois familles d'acariens que l'on retrouve les principaux ravageurs des cultures maraîchères :

2.4.2. Les Tétranychidae

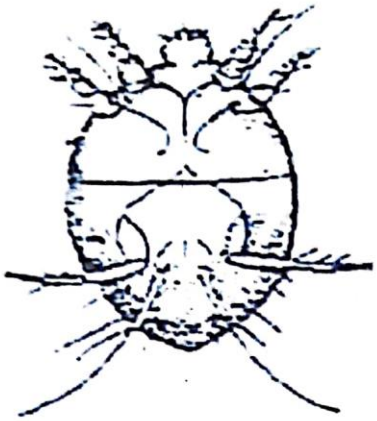
Ces acariens sont pourvus d'un corps ovale, convexe et sclérifié. Ils se déplacent assez rapidement à la surface des feuilles. Ils possèdent en outre 4 paires de pattes et se reproduisent sans interruption en climats chauds.

Les principales espèces rencontrées sur végétaux sont : *Eotetranychus telarius, Tetranychus urticae, Tetranychus neocaledonicus, Panonychus ulmi, Paratetranychus pilosus.*



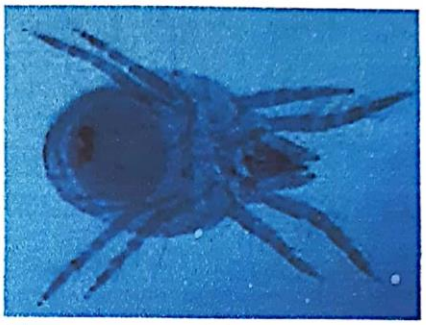
Tetranychus urticae

2.4.3. Les Tarsonémidae



Les acariens de cette famille ont aussi un corps ovale, sont de plus petite taille et sont à peine visibles. Ils sont aussi pourvus de 4 paires de pattes.

Les espèces fréquentes sont *Tarsonemus pallidus* et *Polyphagotarsonemus latus.*



Tarsonemus pallidus

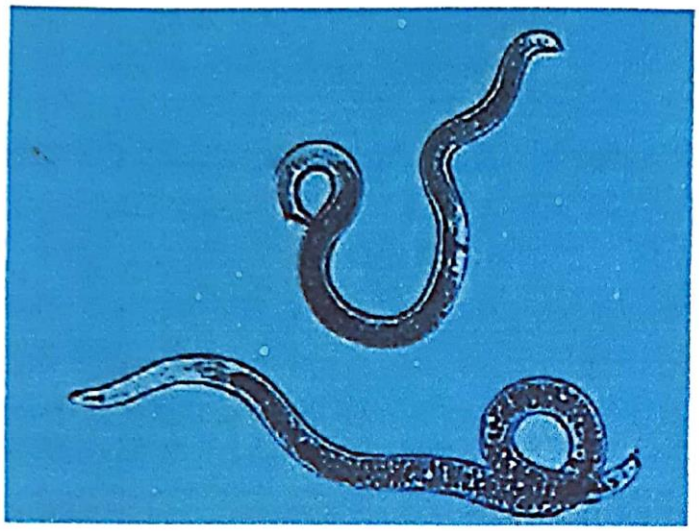
2.4.4. Les Eryophyidae

Ils sont par contre pourvus d'un corps long, étroit et mou ; de 2 paires de pattes et sont aussi invisibles à l'œil nu.

Exemple : *Aculops lycopersici,* acariose bronzée sur tomate.

Parmi les espèces nuisibles aux cultures on recense : *Eriophyes pyri, Eriophyes vitis, Eriophyes ribis, Eriophyes tiliae.* Les acariens des farines *Tyroglyphus farinae* font partie de ce groupe.

2.6. Les nématodes phytoparasites



Les nématodes sont des **vers microscopiques** normalement cylindriques et allongés ("nema" en grec = cheveux), sans tête bien définie, à symétrie bilatérale et enfermés dans une cuticule assez résistante ornementée ou annelée.

Cette **annélation est tout à fait superficielle** et ne correspond à aucune division interne de l'organisme, contrairement à d'autres vers (annélidés).

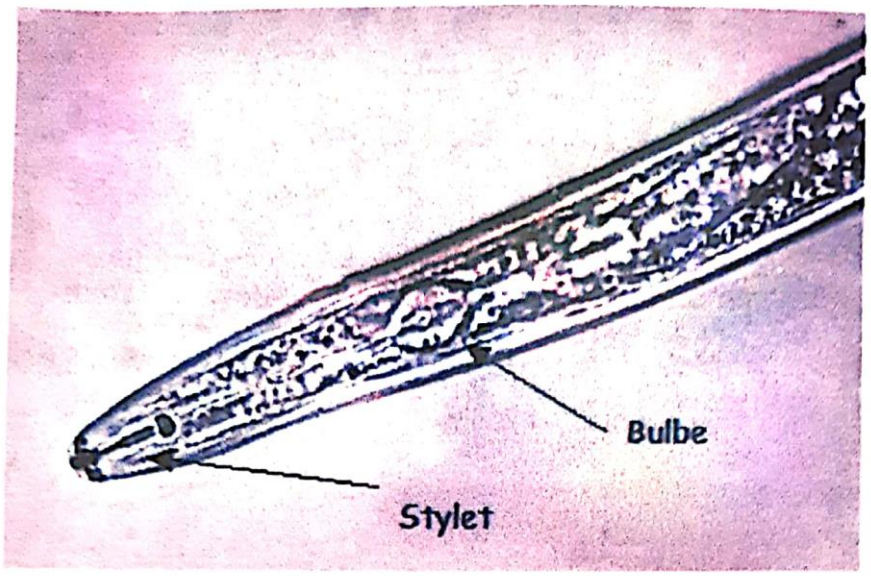
La taille des nématodes est très variable : l'ascaris du cheval peut atteindre 30 cm, certaines espèces atteignent le mètre, mais ce n'est pas le cas des espèces de nématodes phytophages, dont le diamètre varie entre 10 et 40 microns et la taille oscille entre 200 microns et 1 cm.

Les tailles et diamètres varient fortement en fonction du stade (larve ou adulte) ou du sexe de l'animal. Ces animaux sont donc petits et difficiles à mettre en évidence sans observations précises (rarement visibles à l'œil nu, ils nécessitent des techniques de mise en évidence particulières).

On peut considérer que **leur corps est constitué de trois tubes emboîtés** l'un dans l'autre : un fourreau externe ou cuticule, un tube digestif et les organes reproducteurs.

Le **premier tube** est un fourreau externe comprenant la cuticule externe, l'épiderme et le système musculaire (4 faisceaux musculaires longitudinaux). On distingue encore à la tête de l'animal, la capsule céphalique où la cuticule est plus épaisse ; la tête est aplatie, plus ou moins tronquée ou un peu allongée. On peut parler chez les nématodes de squelette hydrostatique ; il y a à l'intérieur du corps une haute pression qui maintient le corps en turgescence. La cuticule doit donc être suffisamment épaisse et inélastique pour résister à cette pression interne.

Le **second tube** est constitué essentiellement par le tube digestif ; l'appareil digestif est simple et constitué des organes suivants : bouche, souvent entourée de soies sensorielles ou papilles et organes chimio-récepteurs (les amphides). Après la bouche, vient la cavité buccale avec le stylet plus ou moins long, l'oesophage avec les trois glandes périoesophagiennes, le bulbe médian. Enfin vient l'intestin terminé par le rectum et l'anus.



Extrémité antérieure d'un nématode phytoparasite : la présence d'un stylet est caractéristique.

Les sécrétions du nématode peuvent aussi conduire à la formation de structures nourricières particulières (cas des nématodes sédentaires – ex : Heterodera ou Globodera), voire de galles sur les racines (ex : Meloidogyne).

Il est rare de pouvoir relier un symptôme particulier à une maladie vermiculaire. Le diagnostic précis - par extraction et identification - est toujours obligatoire.

Une analyse de sol s'impose pour identifier et compter le nombre de nématodes par gramme de sol (**déterminer si le seuil d'infestation est atteint**).

Dans le cas des nématodes à galles (**Meloidogyne**), un comptage sur les racines du **nombre de galles** (et éventuellement des masses d'œufs) suffit.

Dans le cas des nématodes à kystes (Heterodera ou Globodera), un comptage du **nombre de kystes** présents dans le sol ne suffit pas car une partie des kystes peuvent être vides. En cas d'infestation ancienne de la parcelle, le nombre de larves qui pourront réellement infester les plantes sera inférieur à celui estimé par un comptage des kystes (surestimation du risque).

Du point de vue de leur comportement vis-à-vis des plantes, les nématodes peuvent être séparés en **deux catégories** d'importance inégale :

- d'une part, ceux qui ont tout leur cycle dans le sol et ne s'attaquent qu'aux racines. Ce sont les plus nombreux ;
- d'autre part, ceux qui s'attaquent aux parties aériennes des plantes : bulbes, tiges et parfois feuilles.

- Les **nématodes des racines** : il existe des parasites externes qui ne pénètrent jamais à l'intérieur des racines, mais se contentent de les piquer avec leur stylet (ectoparaistes migrateurs ou sédentaires) et des parasites internes qui creusent dans le cortex des racines des cavités en détruisant les cellules et en se nourrissant de leur contenu et qui ont leur cycle en tout ou en partie qui se fait dans les tissus végétaux; ils sont migrateurs (si tous les stades -larves et adultes- restent en général vermiformes) ou sédentaires (si les femelles se renflent et restent fixées à un endroit où elles se nourrissent) : ce sont les endoparasites sédentaires. Chez ces nématodes, la pénétration de la plante a lieu pendant les premiers stades de développement (habituellement au deuxième stade larvaire ou J2). Les larves s'enfoncent dans le parenchyme et s'établissent sur un site nourricier en induisant la formation chez l'hôte de cellules transformées, plus grandes et polynucléées, et qui servent à fournir au nématode les éléments nutritifs nécessaires ("cellules géantes" du syncytium).
  Après la dernière mue, la femelle grossit de plus en plus ce qui la rend immobile; elle se transforme en kyste (**nématodes à kystes**, Globodera ou Heterodera) ou provoque la formation de galles sur les racines (**nématodes à galles**, Meloidogyne).
  Le kyste peut survivre longtemps dans le sol, même en absence de plantes-hôtes. D'autre part, même lors de conditions favorables, une fraction des kystes (de 10 à 40%) n'éclosent pas, ce qui maintient un potentiel d'infestation dans le sol.

Racine infestée de « galles » (Meloidogyne spp.)

- Les **nématodes des parties aériennes** : certaines espèces de nématodes phytophages sont capables de migrer hors du sol et de s'attaquer aux parties aériennes des plantes. Ils se déplacent à la surface des tiges et des feuilles dans la pellicule d'eau qui les recouvre lors d'une pluie ou d'une rosée. Quand cette pellicule d'eau disparaît, ils passent à l'état de vie ralentie (anabiose) et ne reprennent leur activité que quand elle se reconstitue. On peut notamment citer:
  - le nématode des tiges et des bulbes (*Ditylenchus dipsaci*)
  - les nématodes des feuilles (*Aphelenchoides* spp. et *Anguina tritici*, agent de la "nielle" du blé): *Aphelenchoides besseyi* (sur riz).

Suite aux attaques, généralement on ne voit que **des zones où la végétation est moins dense, les plantes plus petites, réparties en taches d'inégale importance**. Souvent **les plantes infestées flétrissent au soleil** car l'absorption d'eau est freinée par l'altération du système radiculaire. Au niveau du système radiculaire, les dégâts vont des nécroses superficielles, dues aux piqûres de nématodes ectoparasites, à la déformation complète de la racine par production de galles sous l'action des endoparasites (exemple : les divers Meloidogyne). L'absorption d'eau est très souvent gênée. L'assimilation du potassium est diminuée, parfois celle du sodium également.

Dégats de Radopholus similis : chute de plants infectés après un coup de vent, commune d'Ajoupa Bouillon, Martinique.
(Photo IRD - Patrick Quenehervé).

Des interactions entre les nématodes et les organismes pathogènes existent : effet synergique entre virus et nématodes ; action de Globodera rostochiensis aggravée par la présence de Rhizoctonia solani ou Verticillium dahliae, etc. Des variétés de tomate résistantes à Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici devenaient sensibles à l'égard de ce pathogène en présence de Meloidogyne incognita. Les Meloidogyne semblent briser la résistance en provoquant chez la plante de profonds changements dans la physiologie : ceux-ci la prédisposeraient aux attaques de Fusarium.

2.3. Biologie et identification des insectes ravageurs

Les insectes appartiennent à l'embranchement des Arthropodes caractérisé par des individus à corps segmenté. La classe des insectes est un ensemble remarquablement vaste. Les insectes comptent de nos jours +/- 800 000 espèces (il en existerait plusieurs millions), soit 80 % des espèces animales décrites actuellement. Ils occupent tous les milieux puisqu'ils s'adaptent aux conditions les plus difficiles. Leur prolificité est remarquable.

Les principaux ravageurs des cultures appartiennent à différents ordres et sous-ordres auxquels sont rattachées des familles (Tableau ci-dessous).

Principaux ordres et familles de ravageurs

Ordres	Caractéristiques	Familles	Exemples	Cultures
Dictyoptères	Insectes de grande taille, plats Epines sur le tibia Tête triangulaire Antennes filiformes Pièces buccales broyeuses et fortes Lucifuges	Blattidae	Blatte ou cafard 	Ravageurs des denrées stockées de toutes sortes
Orthoptères	Ailes pouvant être mises en toit Ailes postérieures pliées en éventail « Cuisses » postérieures renflées adaptées au saut Organes de stridulation Broyeurs	Gryllotalpidae Gryllidae Acrididae	Courtilière Criquet 	Pomme de terre, mil, maïs, sorgho et céréales diverses

Le mode de nutrition de l'insecte détermine l'aspect des dégâts (piqûres, morsures, coupures...), d'où l'importance en outre de connaître la systématique, les caractéristiques alimentaires et la biologie des insectes.

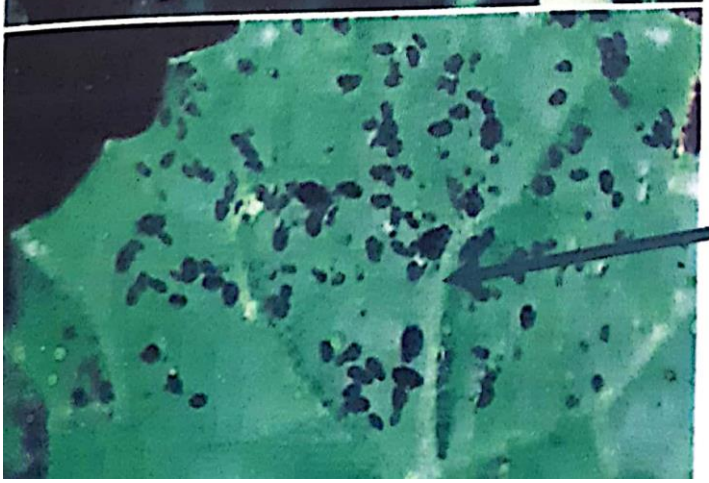
- Chez les insectes à **métamorphose complète** (Coléoptère, Diptère, Lépidoptère), présentant *quatre stades bien* distincts l'un de l'autre, c'est plus souvent **le stade larve mobile** (chenille chez les Lépidoptères, l'asticot chez les Diptères) qui **provoque les dégâts** aux plantes cultivées, les adultes ne sont généralement pas nuisibles aux cultures sauf chez certains Coléoptères.

- Chez les insectes à **métamorphose incomplète**, *la larve ressemble déjà* fortement à l'adulte sauf qu'elle est plus petite et ne possède pas d'ailes : **tous les stades sont mobiles et peuvent être nuisibles** aux cultures. C'est le cas des jassides, pucerons et mouches blanches (Homoptères), des sauterelles (Orthoptères) et des thrips (Thysanoptères). Il est possible d'identifier assez facilement les larves d'insectes de ces trois ordres principaux de ravageurs.

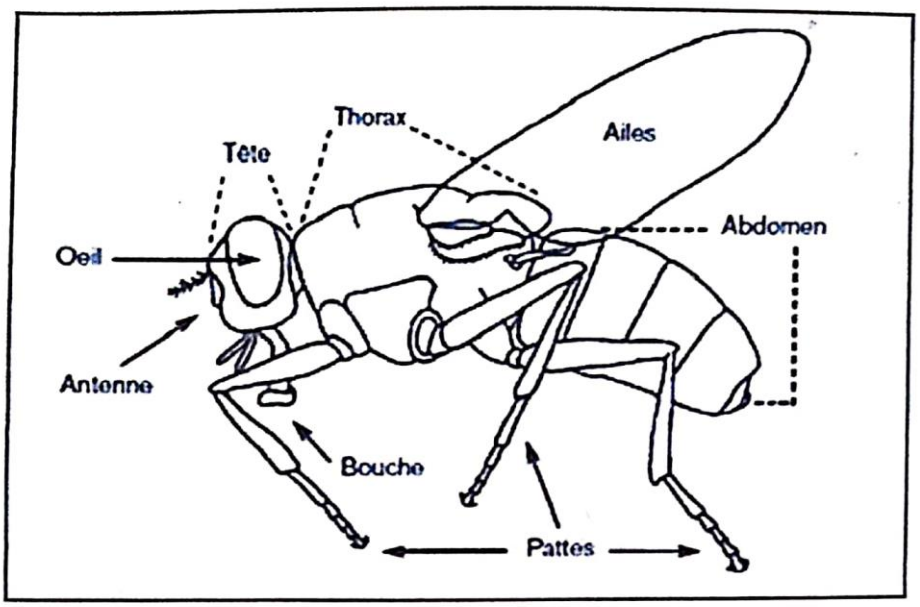
La **reconnaissance** des ravageurs et un **diagnostic** efficace se basent sur plusieurs éléments dont une surveillance des cultures et donc une observation de l'infestation directement au champ, des signes d'attaques sur les végétaux et ce à tous les stades.

Exemples de dégâts d'insectes :

Dégâts de la mouche mineuse (galeries)



Colonies de pucerons qui envahissent les feuilles



Représentation schématique du corps d'un insecte

Au cours de leur cycle de développement, les insectes subissent des transformations plus ou moins importantes appelées métamorphoses dont les étapes successives sont : l'œuf, **la larve**, **la nymphe**, l'adulte (Figure ci dessous).

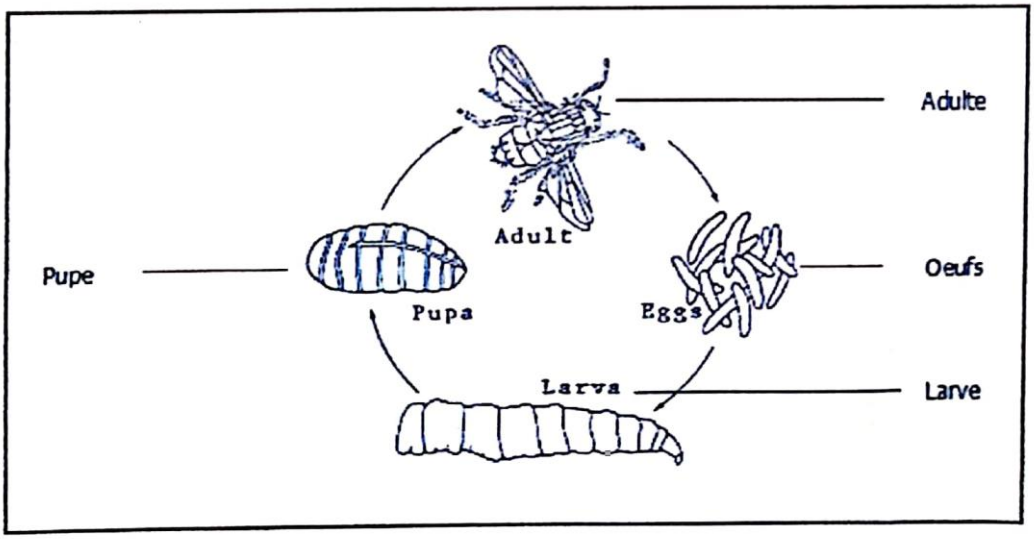


Illustration du cycle de vie d'un insecte

Les insectes peuvent provoquer des dégâts à différents stades mais **les plus nuisibles sont généralement les stades larvaires** (chenilles qui rongent les feuilles, larves qui creusent des galeries dans la plante ou dans les fruits). Au stade adulte, les dégâts surviennent aussi par la transmission de maladies. C'est leur mode d'alimentation qui conditionne le dégât causé !

Asticot de mouche dans le collet d'une tige de haricot

Identification des larves d'insectes

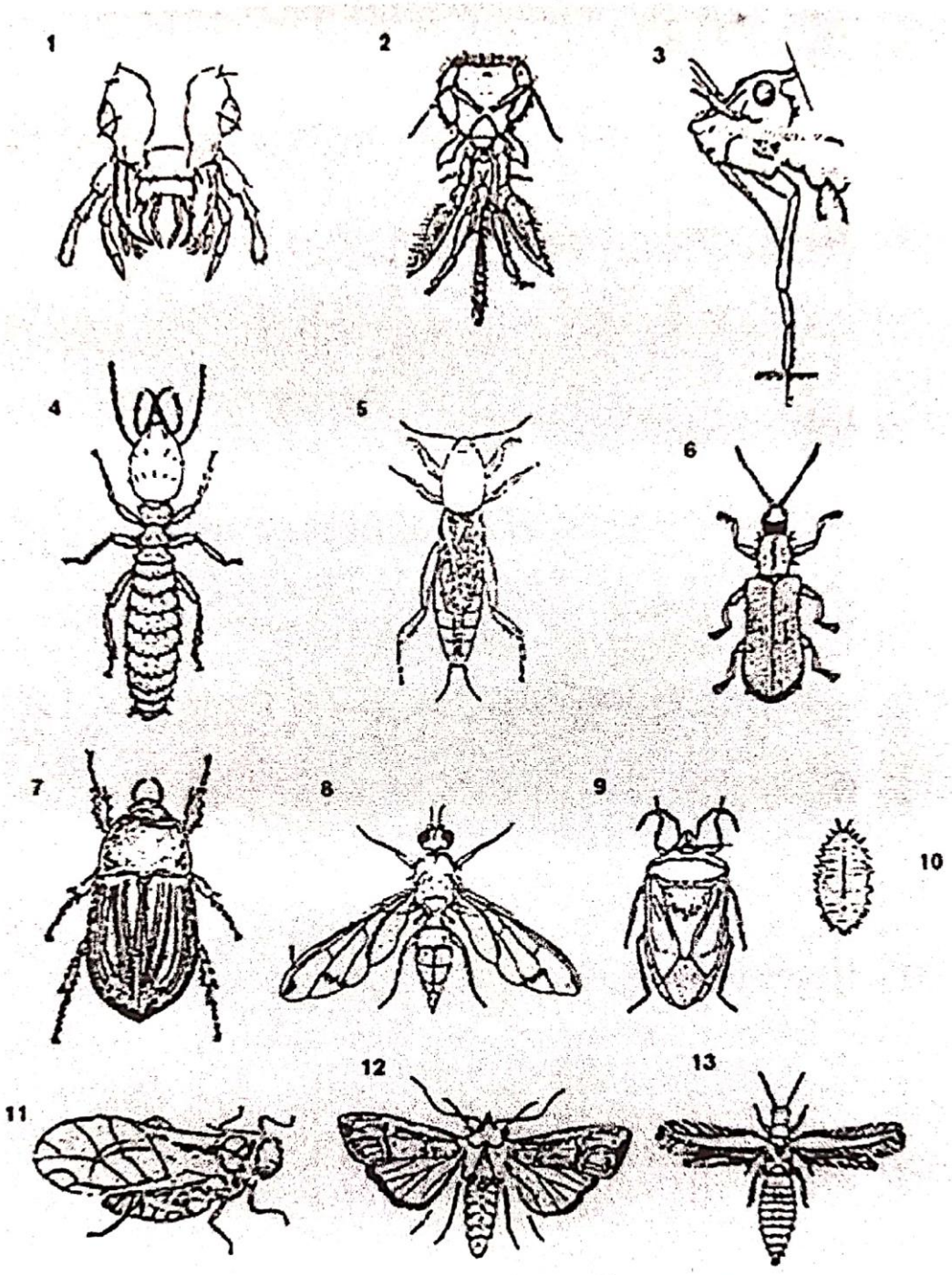
Ordre	Types de larves	Caractéristiques
LEPIDOPTERE : **Chenille « typique »**		4 paires de fausses pattes abdominales et 1 anale 3 paires de pattes thoraciques
« Fausse arpenteuse »		2 paires de fausses pattes abdominales et 1anale 3 paires de pattes thoraciques
COLEOPTERE : **« Larve »**		Pas de pattes abdominales 3 paires de pattes thoraciques
DIPTERE : **« Asticot »**		Sans pattes (apode)

Ordres	Caractéristiques	Familles	Exemples	Cultures
Homoptères	Insectes de petite taille Pièces buccales longues (en stylet), suceuses Ailes membraneuses transparentes Larves et adultes polyphages (injection de salive corrosive, absorption de sève, transmission maladies virales)	Aphididae Aleyrodidae Jassidae	Puceron Mouche blanche Cicadelle 	Diakhatou, chou Tomate Aubergine, diakhatou, gombo
Hétéroptères	Insectes de taille moyenne Pièces buccales piqueuses-suceuses Ailes antérieures avec une partie chitineuse et une partie membraneuse	Pentatomidae Miridae Reduviidae Coreidae	Punaise 	Manioc, riz, banane, millet, sorgho
Coléoptères	Tête chitinisée avec 2 gros yeux Antennes à insertion latérale Ailes antérieures chitineuses, en étui sur les ailes postérieures membraneuses seules fonctionnelles Pièces buccales broyeuses Pattes marcheuses	Chrysomelidae Cantharidae Coccinelidae Cerambycidae Scolytidae Bruchidae Curculionidae	Chrysomèle Cantharide Coccinelle Longicorne Scolyte Bruche Charançon 	Tomate Cucurbitacées Arachide, pois Patate douce

Ordres	Caractéristiques	Familles	Exemples	Cultures
Lépidoptères	Quatre ailes recouvertes d'écailles formant des dessins souvent colorés Trompes suceuses Nocturnes (antennes filiformes) et diurnes (antennes en forme de massue) Phytophages, mineuses des cultures	Tortricidae Pyralidae Noctuidae Pieridae Nymphalidae	Carpocapse Pyrale Noctuelle Vers gris Chenilles défoliatrices et légionnaires 	Pommier, abricotier Tomate, coton, melon Pomme de terre Coton Aubergine Poivron, piment
Diptères	Ordre vaste et varié Appareil buccal piqueur ou suceur 1 seule paire d'ailes fonctionnelles Nervation alaire complexe	Nématocères (antennes courtes et annelées : Cecidomyidae, Agromyzidae)	Cécidomyie Mouche du chou, de la carotte, de la mangue Mouches mineuses... 	Céréales Légumes Arbres fruitiers Agrumes

Les insectes possèdent quelques caractéristiques bien spécifiques. Comme tous les Arthropodes ou Articulés, ils possèdent un **revêtement externe rigide** sous forme d'une série de segments plus ou moins modifiés. Ce tégument, constitué de plaques résistantes et articulées **à base de chitine**, est un squelette externe, une **protection** contre les agressions de l'environnement.

Le corps de l'adulte est divisé en trois parties bien distinctes : la **tête** qui porte les pièces buccales, les antennes et les yeux ; le **thorax** sur lequel sont **fixées trois paires de pattes** caractéristiques des insectes et les **ailes** ; l'**abdomen segmenté** et **sans pattes**. Leur taille peut varier de quelques millimètres à plusieurs centimètres de long.



Pièces buccales et dessins de quelques insectes importants en agriculture
(illustration des grands ordres d'insectes ravageurs).

1) Appareil buccal broyeur
2) Appareil buccal lécheur-suceur
3) Appareil buccal piqueur
4) Isoptère (termite)
5) Orthoptère (Gryllotalpidae)
6) Coléoptère (Chrysomelidae)
7) Coléoptère (Scarabeïdae)
8) Diptère
9) Hétéroptère
10) Homoptère (cochenille)
11) Homoptère (puceron)
12) Lépidoptère
13) Thysanoptère (Thrips)

Les TD et TP sont présentés dans les documents suivants et portants :

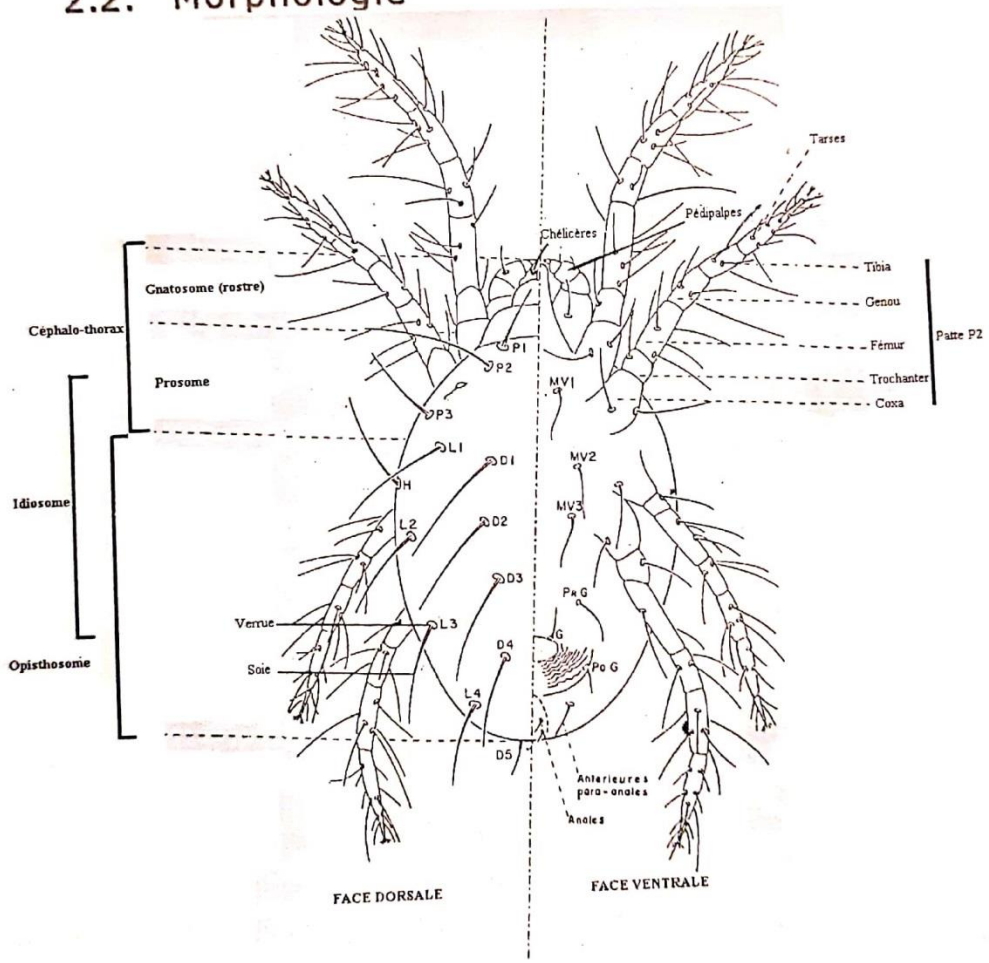
- Chapitre I: les Acariens,
- Chapitre II: les Nématodes
- Chapitre III: les Insectes.

Chapitre I: les Acariens

2.1. Place systématique

- Règne : Animal
- Embranchement : Arthropodes
- Classe : Arachnides :
  - 4 paires de pattes
  - 1 paire de chélicères
  - (pas d'aile, pas d'antennes)
- Ordre : Acariens : araignées microscopiques

2.2. Morphologie



: aspect dorso-ventral de la femelle avec nomenclature des soies du corps.

Longueur = 0,5mm

Acarien tétranyque

2.2.1. Généralités

→ Corps en 2 parties
→ 1 paire de chélicères
→ 4 paires de pattes
→ Pas d'ailes
→ Pas d'antennes
⇒ C / ARACHNIDES

→ Microscopiques
⇒ O / ACARIENS

2.2.2. Céphalo-thorax (tête + thorax soudés)

Le cépahalo – thorax est composé de 2 parties :

- Gnathosome (rostre)
  - 1 paire de chélicères : sert à aspirer les aliments
  - 1 paire de pédipalpes : sert à maintenir la proie
  - 1 paire de taches oculaires
- Prosome
  - 4 paires de pattes articulées à 6 articles avec soies

2.2.3. Opisthosome

L'opisthosome comporte :

- De nombreuses soies portées par des verrues colorées
- Un anus ventral
- Un appareil génital ventral

2.3. Anatomie

2.3.1. Appareil circulatoire

Il fonctionne à partir d'hémolymphe circulant dans tout le corps à l'aide de contractions des muscles.

2.3.2. Appareil respiratoire

La respiration se fait grâce à un système trachéen qui va déboucher à l'extérieur par des trous qui sont de stigmates.

2.3.3. Système excréteur

L'excrétion se fait par les tubes de Malpighi qui sont reliés à l'appareil digestif.

2.3.4. Appareil digestif

Ils ont un appareil digestif complet et peuvent prédigérer leurs proies avant de les avaler.

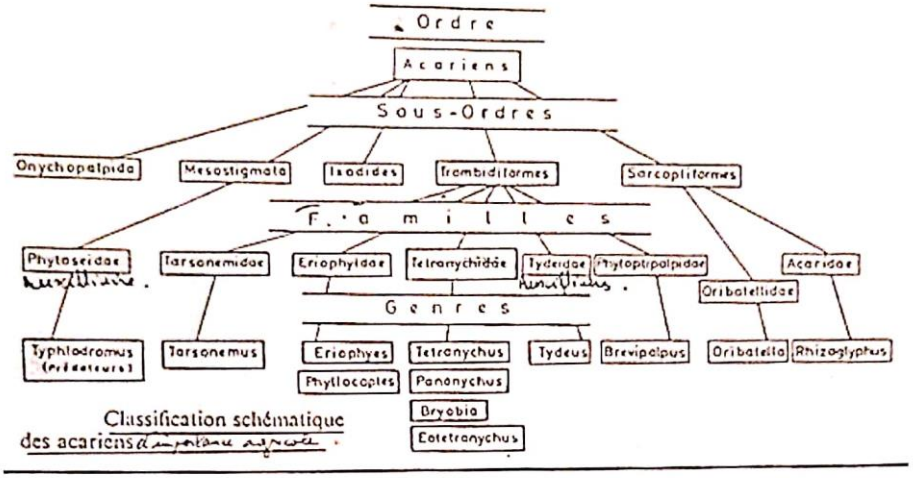
2.3.5. Appareil reproducteur

Les acariens mâles et femelles se reproduisent :

- Soit de façon sexuée
- Soit de façon asexuée (quand les mâles se font rares)

- Mâle : 2 testicules reliés à un spermiducte + 1 appareil copulateur
- Femelle : 1 seul ovaire avec 1 seul oviducte avec un réceptacle séminal qui lui permet de différer la fécondation.

2.4. Les différentes familles et leurs cycles de développement



Classification schématique des acariens

Il existe des acariens :

- Aquatiques
- Terrestres (poussières, aliments, denrées stockées, auxiliaires…)

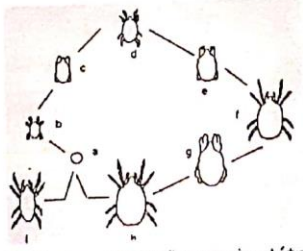
Régime alimentaire :

- Détritivores : poussières, peaux mortes…
- Hématophages : sang. Ex : Tiques
- Carnivores : Auxiliaires
- Phytophages : feuilles, fruits…

2.4.1. Leur cycle de développement

2.4.1.1. Cycle de la famille des Tétranychidés

Œuf (immobile) → Larve (mobile) 3 p pattes → Protochrysalide (immobile) 4 p pattes → Protonymphe (mobile) → Deutochrysalide (immobile) → Deutonymphe (mobile) → Téliochrysalide (immobile) → Adulte mâle ou femelle (mobile) → Œuf

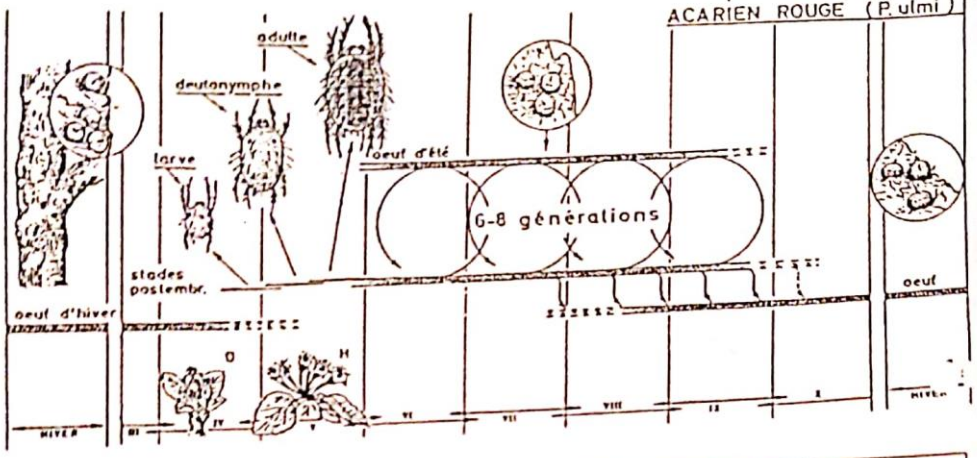


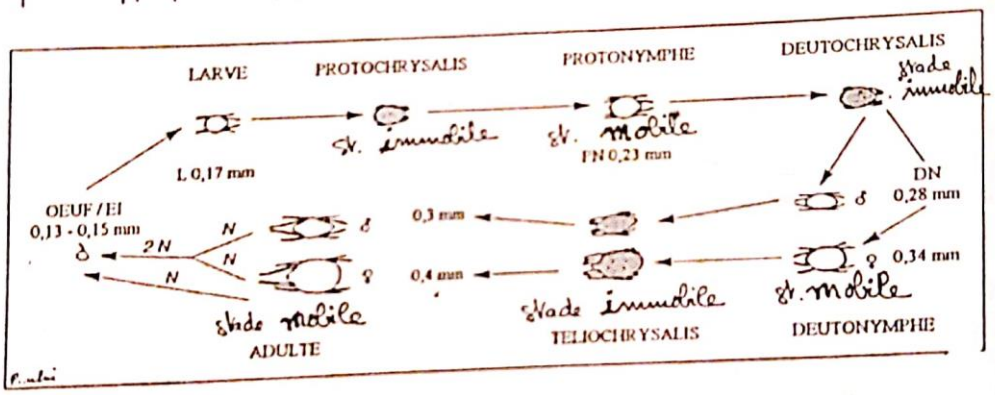
Cycle de développement d'un acarien tétranyque

Cycle des acariens rouges et jaunes

Diapause hivernale = ♂

ACARIEN ROUGE (P. ulmi)

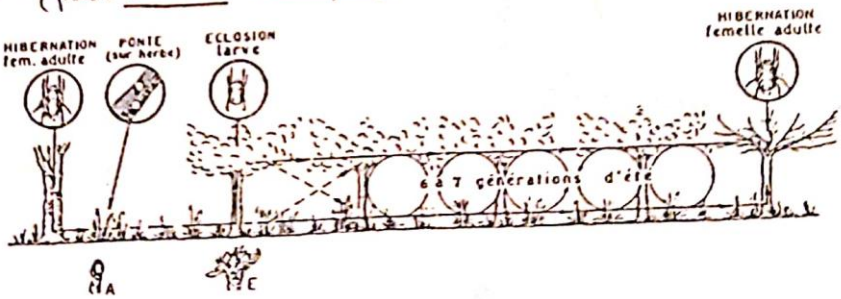




Diapause hivernale = femelle adulte (pour T. urticae et E. carpini)

ACARIEN JAUNE

T. urticae

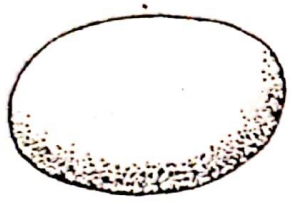


PHÉNOLOGIE (pommier)

A B C D E F G H

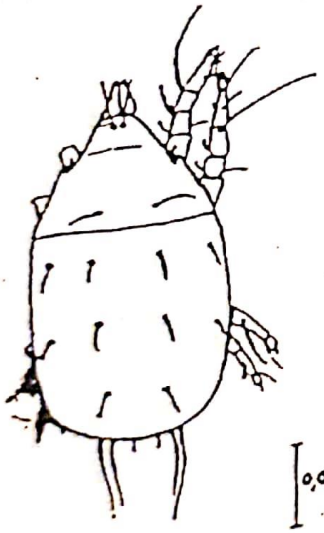
hiver — mars — avril — mai — juin - octobre — hiver

DIFFERENTS STADES DU DEVELOPPEMENT D'UN ACARIEN (*Acarus siro* L.)

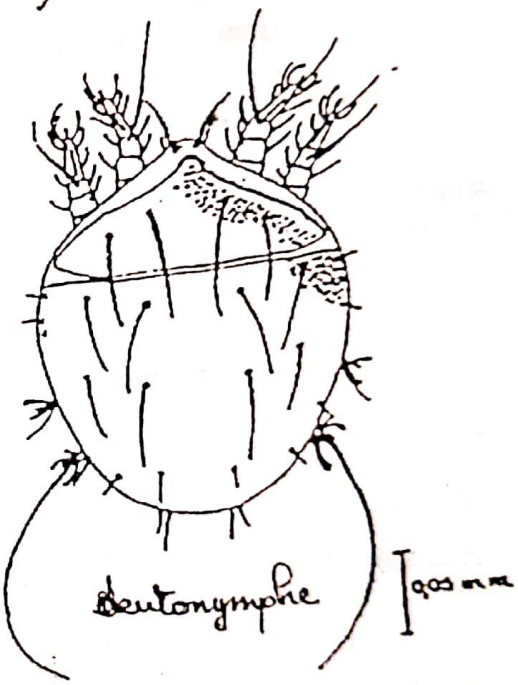


oeuf

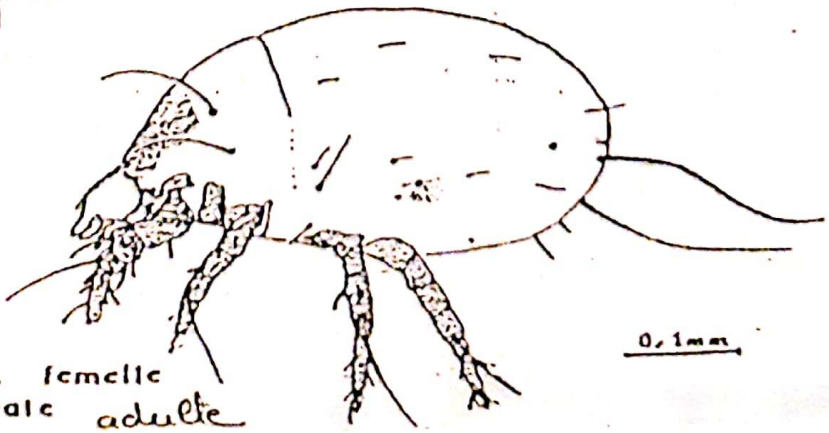
larve
(à 6 pattes)



protonymphe

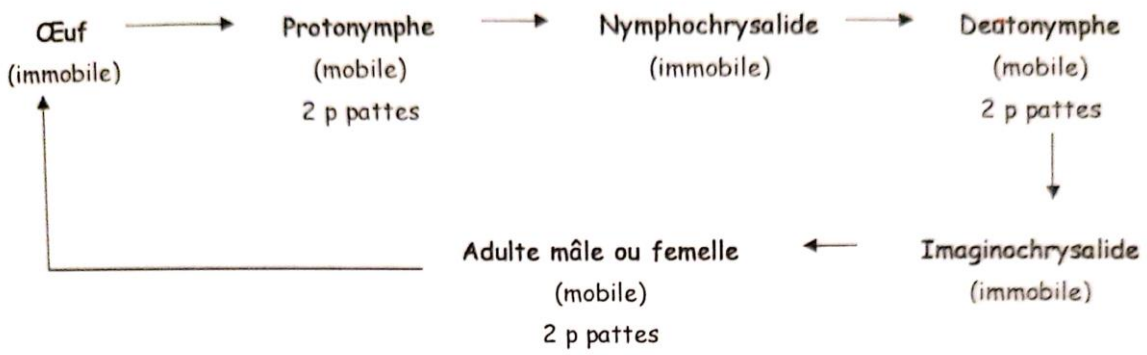


deutonymphe

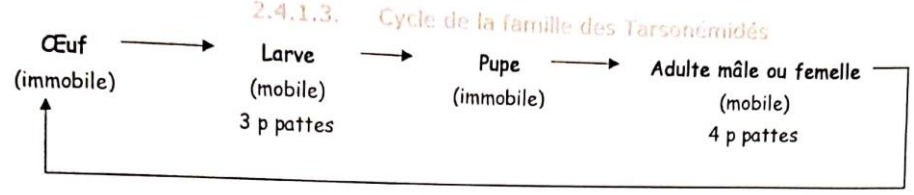


A. siro L. femelle
vue latérale adulte

2.4.1.2. Cycle de la famille des Eriophyidés



2.4.1.3. Cycle de la famille des Tarsonémidés



2.4.1.4. Facteurs favorables à la reproduction

Pour les acariens vivant à l'extérieur : Temps chaud et sec.

Pour les acariens vivant à l'intérieur : Temps chaud et humide.

2.5. Caractéristiques des familles

Tableau 2 – Classification de la sous-classe des acariens

	ORDRES	FAMILLES	DIVERS
ANACTINOTRICHIDES (= PARASITIFORMES)	OPILIOACARIDIDES	OPILIOACARIDAE	
	HOLOTHYRIDES	HOLOTHYRIDAE	
	GAMASIDES (= MESOSTIGMATES)	PHYTOSEIIDAE	
		VARROIDAE	*Varroa* des abeilles
	IXODIDES (= METASTIGMATES)	IXODIDAE	Tiques
		ARGASIDAE	
ACTINOTRICHIDES (= ACARIFORMES)	ACTINEDIDES (= PROSTIGMATES)	PENTHALEIDAE	
		TYDEIDAE	
		BDELLIDAE	
		CUNAXIDAE	
		PYEMOTIDAE	
		TARSONEMIDAE	Tarsonèmes
		PODAPOLIPIDAE	
		CHEYLETIDAE	
		DEMODECIDAE	*Demodex folliculorum*
		STIGMAEIDAE	Acariens des cultures
		TETRANYCHIDAE	
		TENUIPALPIDAE	
		TUCKERELLIDAE	
		ERIOPHYIDAE	Phytoptes
		TROMBIDIIDAE	
		TROMBICULIDAE	Aoûtats
		HYDRACHNIDAE	Hydracariens
	ACARIDIDES (= ASTIGMATES)	ACARIDAE	Acariens des matelas
		SARCOPTIDAE	Sarcopte de la gale
	ORIBATIDES (= CRYPTOSTIGMATES)	140 familles	Acariens du sol

Tableau 3 – Les ordres, super-familles et familles d'acariens phytophages

ORDRE	SUPER-FAMILLE	FAMILLE
ACTINEDIDA	Eupodoidea Tydeoidea Tarsonemoidea Pyemotoidea	Penthaleidae Tydeidae Tarsonemidae Pyemotidae
	Tetranychoidea	Tetranychidae Tenuipalpidae Tuckerellidae
	Eriophyoidea	Nalepellidae Eriophyidae Rhyncaphytoptidae
ACARIDA	Acaridoidea	Acarididae

2.5.1. F/ Tétranychidés

Ex :

- *Tetranychus urticae*
- *Panonychus ulmi*

Les acariens de la famille des Tétranychidés sont caractérisés par :

★ 4 paires de pattes
★ Un corps globuleux ovale
★ La présence de soies longues et raides
★ Une couleur soit rouge, soit jaune

2.5.1.1. Les acariens rouges

On les rencontre le plus souvent sur pommier et vigne, ils sont rouges et possèdent 4 rangées de soies blanches bien alignées (verrues blanches).
Les mâles sont très peu nombreux (il y a 10 fois plus de femelles).

Les œufs sont :

- Rouges avec une petite soie sur le bois l'hiver
- Orangés avec une petite soie sur les feuilles l'été

DEGATS : Les feuilles virent au vert clair plombé, se dessèchent et tombent.

2.5.1.2. Les acariens jaunes

Ils attaquent de nombreuses cultures (très polyphages), mais principalement sur cultures fruitères et vignes.

Le corps est jaune pâle avec 2 taches noires - rouges sur leur côté.
Ils tissent des toiles +/- grises sur les feuilles et se promènent sous les toiles pour se protéger.
Ils hivernent sous formes adultes femelles en général dans les écorces et sont prêts à se multiplier au printemps grâce à des réserves de sperme.

Famille des Tétranychidés **TETRANYQUES**

Tableau des critères de différenciation des espèces les plus communément rencontrées en arboriculture et viticulture

Corps	Corps rouge ou brun rouge			Corps jaune			
	dos bombé à surface lisse		aplati, à surface nettement striée	2 taches oculaires rouges		sans tache oculaire	
	corps globuleux soies dorsales longues insérées sur des protubérances blanchâtres	corps plus allongé soies dorsales longues insérées directement sans protubérances	soies dorsales courtes en forme de spatules pattes antérieures très longues	2 grandes taches foncées sur le dos corps jaune-paille à verdâtre, large	plusieurs petits points foncés sur les côtés corps jaune, plus étroit	pattes courtes partie postérieure du corps plus étroite que l'avant et tronquée	longues pattes partie postérieure du corps large et arrondie
Taille (longueur)	0,4 mm	0,7 mm	0,6 mm	0,6 mm	0,5 mm	0,4 mm	0,3 mm
Œufs d'été	rouge ou rosé surmonté d'un « poil »	jaune clair	rouge clair	œuf sphérique	œuf sphérique	pas d'œuf	œuf ovoïde translucide
Forme hivernante	œufs rouges striés surmontés d'un « poil » effilé	femelles adultes rouge vif	œufs rouges lisses sphériques	femelles adultes orangées	femelles adultes jaune foncé	femelles adultes	femelles adultes
Présence de toiles	NON	OUI	NON	OUI	NON	NON	NON
Nom commun	Acarien rouge	Tétranyque du pommier et de l'aubépine	Bryobe des arbres fruitiers	Acarien jaune ou Tétranyque tisserand	Acarien des charmilles	Typhlodromes	Tydéides
Nom latin	*Panonychus ulmi*	*Tetranychus viennensis*	*Bryobia rubrioculus*	*Tetranychus atlanticus* ou *urticæ*	*Eotetranychus carpini*	*Typhlodromus* sp	*Tydeus* sp
Cultures attaquées	arbres fruitiers et vignes	arbres fruitiers, aubépine	arbres fruitiers	arbres fruitiers et ornementaux, vigne, cultures florales et maraîchères, plantes adventices	vigne	arbres fruitiers, vigne, adventices	arbres fruitiers, vigne, adventices

2.5.2. F/ Eriophyidés

On les trouve sur vigne et pommier essentiellement et sont responsables des Erinoses.
Ils sont caractérisés par :

- ★ 2 paires de pattes à l'avant
- ★ Un corps vermiforme

Ils hivernent sous forme adulte femelle.
Ils provoquent des galles sur les feuilles puis une décoloration.

Ex : En vigne : *Colomerus viti* provoque des boursouflures sur la face supérieure des feuilles et un feutrage blanc sur la face inférieure. On trouve les acariens dans chaque boursouflure.

DEGATS : Ils gênent la photosynthèse mais ne supportent pas le soufre.

Ex : Chez le pommier : le Phytope du pommier (*Aculus schlchtendali*) provoque des taches brunes sur les feuilles et un feutrage marron sous la feuille.

2.5.3. F/ Tarsonémidés

Ils se caractérisent par :

- ★ 4 paires de pattes
- ★ Des pattes postérieures très déformées

Ex : Tarsonème du Fraisier (*Tarsonemus pallidus*) provoque des taches et un dessèchement des boutons floraux.

Ils hivernent sous forme adulte femelle.

2.5.4. F/ Phytoséiidés

Ce sont des acariens auxiliaires acariophages.
Ils ont une forme de poire (piriforme) ou de goutte d'eau.

Ex : *Typhlodromus pyri*, utilisé en arbo et vigne.

2.6. Moyens de lutte

2.6.1. Techniques culturales

- ★ Maintenir un milieu humide, par arrosage, aspersion, goutte à goutte…
- ★ Diminuer la fertilisation azotée

2.6.2. Lutte chimique

On utilise des acaricides qui détruisent soit :

- Le œufs : ovicides
- Les larves : larvicides
- Les adultes

Il est souhaitable de repérer les stades immobiles et il faudra varier les produits car il développent très vite un résistance.

2.6.3. Lutte biologique

Voir cours « Auxiliaires ».

Chapitre II: les Nématodes

3.1. Généralités

3.1.1. Classification

R/ ANIMAL : pas de chloroplastes
E/ NEMATHELMINTHE : ver rond non segmenté et recouvert de chitine
C/ NEMATODE : ver effilé avec 2 extrémités
O/ TYLENCHOÏDES : stylet perforateur de racines
F/Meloïdoginidés
F/ Hétérodéridés

3.1.2. Mode de vie

Les nématodes préfèrent les milieux humides car ils se déplacent en nageant.
On peut avoir jusqu'à 6millions d'individus/m^2.

Il existe environ 200 000 espèces de nématodes dans le monde.
Environ 5 000 vivent dans le sol
3 000 espèces s'attaquent aux végétaux

3.2. Morphologie et anatomie

Les nématodes sont constitués par 3 tubes :

- ★ Un tube externe constitué par la cuticule
- ★ Un tube digestif
- ★ Un appareil reproducteur

Organisation d'un nématode phytophage

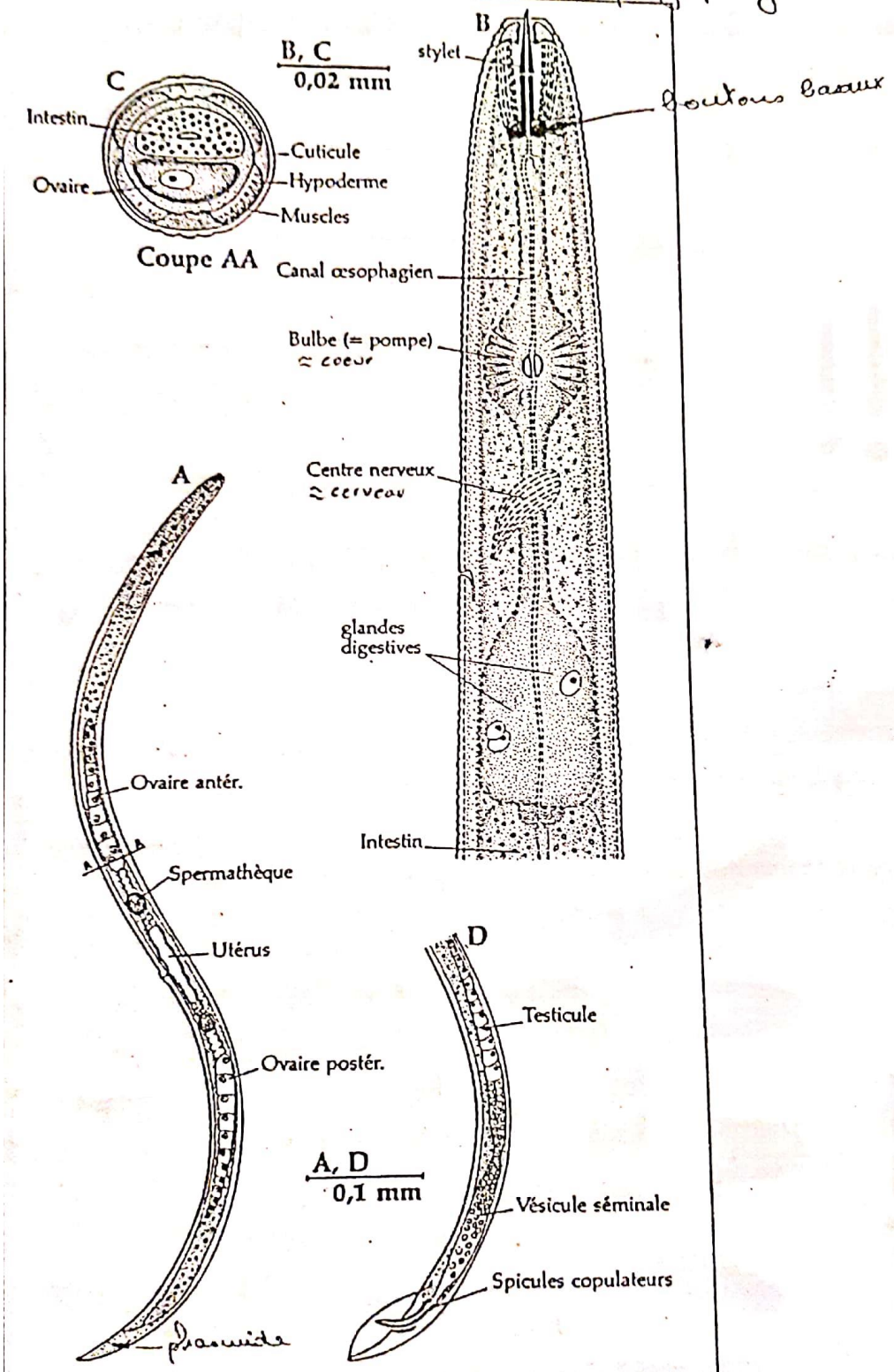


Schéma de l'organisation générale d'un nématode parasite des plantes A : femelle vue en entier. B : détail de la partie antérieure (région de l'œsophage). C : coupe dans la partie moyenne du corps. D : partie postérieure du mâle.

3.2.1. Cuticule

C'est une cuticule plutôt épaisse et sous-tendue par une couche de muscle. Elle est imperméable, en particulier grâce au collagène et à la kératine.

Elle permet les échanges gazeux.

Son rôle essentiel est la protection.

3.2.2. Tube digestif

Ils possèdent un équivalent de bouche avec 1 ou 2 stylets avec à la base des boutons basaux qui permettent de rentrer ou sortir le ou les stylet(s), et un bulbe qui permet la projection et l'aspiration.

Ce tube digestif se termine par un anus qui élimine les déchets solides, et les déchets liquides sont évacués par 2 tubes excréteurs qui font toute la longueur du corps.

La digestion se fait à l'extérieur par injection d'enzymes.

Le tout est prédigéré et réinspiré.

3.2.3. Appareil reproducteur

3.2.3.1. Les femelles

Elles ont un ovaire séparé en 2 parties :

- ★ Une partie antérieure
- ★ Une partie postérieure

Les 2 parties d'ovaires sont séparées par un utérus central et une spermathèque qui permet de différencier l'accouplement de la fécondation.

3.2.3.2. Les mâles

Ils ont une série de testicules, une vésicule séminale, qui sert à stocker les spermatozoïdes et 2 spicules copulateurs qui servent à percer la cuticule de la femelle pour atteindre la spermathèque et déposer les spermatozoïdes.

Les spermatozoïdes sont triangulaires et n'ont pas de flagelle et se déforment pour se déplacer.

3.3. Reproduction et cycle

3.3.1. Reproduction

Il existe soit une reproduction sexuée avec mâle et femelle soit une fécondation interne avec possibilité de différer l'accouplement de la fécondation grâce à la spermathèque de la femelle.

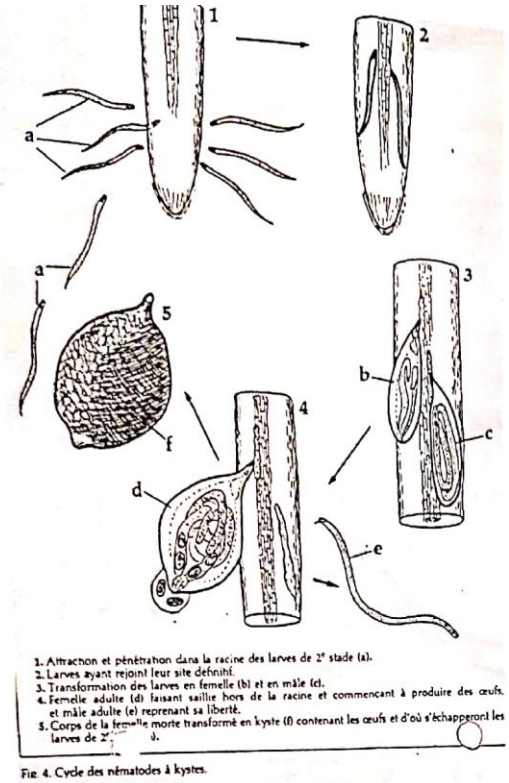
A l'issu de cette fécondation, elle peut :

- ➢ Soit pondre des œufs → OVIPARE
- ➢ Soit « pondre » des larves → VIVIPARE
- ➢ Soit les 2 → OVOVIPARE

Les œufs sont super résistants avec une membrane extérieure super épaisse appelée chorion. Ils peuvent être entourés d'excroissances sous forme d'épines.

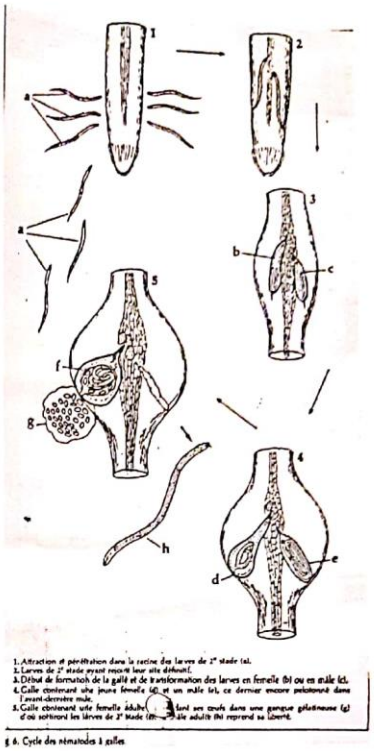
Les œufs ou les larves peuvent être en état de vie ralentie : ANABIOSE = QUIESCENCE pendant 9 à 10 ans.

Ils peuvent résister au froid jusqu'à -25°C et jusqu'à 50 à 70°C.



1. Attraction et pénétration dans la racine des larves de 2e stade (a).
2. Larves ayant rejoint leur site definitif.
3. Transformation des larves en femelle (b) et en mâle (c).
4. Femelle adulte (d) laisant saillie hors de la racine et commencant à produire des œufs. et mâle adulte (e) reprenant sa liberté.
5. Corps de la femelle morte transformé en kyste (f) contenant les œufs et d'où s'échapperont les larves de 2e stade.

Fig. 4. Cycle des nématodes à kystes.



1. Attraction et pénétration dans la racine des larves de 2e stade (a).
2. Larves de 2e stade ayant rejoint leur site définitif.
3. Début de formation de la galle et de transformation des larves en femelle (b) ou en mâle (c).
4. Galle contenant une jeune femelle (d), et un mâle (e), ce dernier encore présent dans l'avant-dernière mue.
5. Galle contenant une femelle adulte (d) ayant ses œufs dans une gangue gélatineuse (g) d'où sortiront les larves de 2e stade (h). Le mâle adulte (h) reprend sa liberté.

§ 6. Cycle des nématodes à galles

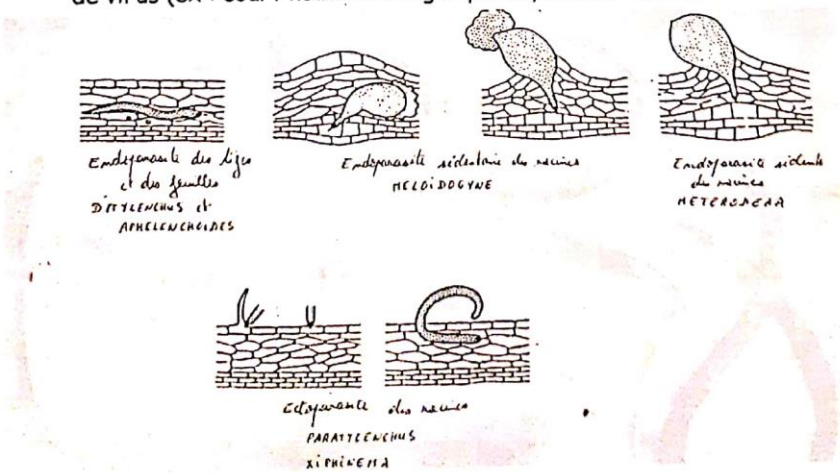
3.3.2. Mode de vie

En dessous de 40% d'humidité ils se mettent en anabiose.

Ils se déplacent très lentement (≈20m/An).

Ils ont développé 2 modes de vie :

- ★ ENDOPARASITE : 1 partie de leur vie se fait à l'intérieur du végétal
- ★ ECTOPARASITE : ils vivent autour du végétal (forme libre), ils vont souvent être vecteurs de virus (ex : court noué de la vigne par *Xiphinema index*).



3.3.3. Dissémination

→ Eau : pluie, canaux d'irrigation
→ Terre : transport de terre (outils non nettoyés), outils du sol, sous les pattes de animaux.
→ Vent : vol des œufs, vols de terre sèche
→ Végétaux : plants, boutures, bulbes (pour les endoparasites)
→ Excréments

3.3.4. Régime alimentaire

Ils sont capables d'attaquer plein de cultures et différents organes :

- ★ Sur tiges : nécroses, taches noires, épaississement du tissu végétal
- ★ Sur racines :
  - o Galles : déformation des racines
  - o Kystes : « poches de larves ».
- ★ Sur feuilles : taches et nécroses entre les nervures
- ★ Sur semences : nécroses

3.4. Principaux nématodes

3.4.1. Nématodes des feuilles et des fleurs

➢ F/ APHELENCHOÏDES : feuilles
Ex : *Aphelenchoïde ritzemabasi* (chrysanthème), *Aphelenchoïde fragaviae* (fraisier)...

➢ F/ ANGUINA
Ex : *Anguina tritici* (galle sur épis et sur fleurs)

3.4.2. Nématodes des tiges, bulbes, rhizome, tubercule

➢ F/ DITYLENCHOÏDES (endoparasites)
Ex : *Ditylenchoïdus dipsaci, Ditylenchoïdus destructor*...

Ils entrent souvent dans les tiges au niveau du collet. Ils injectent un acide toxique à chaque morsure. Les œufs peuvent écore 10 ans après.

3.4.3. Nématodes des racines (les plus nombreux)

3.4.3.1. Ectoparasites

Ils ne rentrent jamais totalement dans les racines mais il s'y accroche en piquant les radicelles avec leur stylet.

→ Affaiblissement de la plante
→ Vecteur de virus

Ils se trouvent surtout sur arbres fruitiers et vigne.
Ex : *Xiphinema index* vecteur du court-noué sur vigne

3.4.3.2. Endoparasites migrateurs

Ce sont des nématodes qui changent de plante en cours de cycle et qui rentre complètement dans les racines.

On les trouve sur céréales et pomme de terre.

Les symptômes observés sont :

→ Des nécroses brun-rouge au niveau du point d'entrée

→ La croissance est bloquée

→ La plante devient chétive et meurt

Ex : *Pratylenchus pratensis* sur céréales, *Pratylenchus penetrans* sur pomme de terre…

3.4.3.3. Endoparasites sédentaires

Ils font tout leur cycle dans la même plante.

- Nématodes à kystes : F/ HETERODERIDES

  Ex : *Heterodera schachtii*

  → Chevelu racinaire – kyste

- Nématodes à galles : F/MELOÏDOGYNIDES

  Ex : Meloïdogyne sp.

  → Galles sur racines

3.4.4. Nématodes auxiliaires

3.4.4.1. Nématodes mycophages

Ils aspirent le contenu du mycélium du champignon. Ils permettent l'équilibre de la flore mycélienne.

Ex : *Dytilenchus myceliophages*

3.4.4.2. Nématodes nématophages

Ex : *Mononchus sp.*

3.4.4.3. Nématodes bactériophages

- F/ RABDITIDES

Ils vivent naturellement dans le sol et se nourrissent de jus de bactéries fermenté. Ils peuvent être vecteurs de virus.

PRINCIPAUX NÉMATODES RESPONSABLES DE FATIGUES DE SOL EN GRANDE CULTURE

C. SCOTTO LA MASSESE

I.N.R.A. - ANTIBES

	Céréales	Maïs	Sorgho	Betterave	Colza	Légumineuses fourragères	Graminées fourragères
Heterodera avenae (races)	R •••	(3) ••					
Pratylenchus spp.	•••	•••	••	••	••	••	••
Ditylenchus dipsaci (races)	R •••	••		••	•	R ••	
Meloidogyne naasi	(R) •••	•	••	(3) ••	•		(2) ••
Meloidogyne artiella	•				•	•	
Heterodera schachtii				•••	••		
Heterodera trifolii				+ +	+ +	••	
Heterodera gottingiana						••	

(R) - Certaines variétés résistantes

(1) - Sensibilité Orge > Blé > Avoine

(2) - Sensibilité Ray grass Italie > Ray grass hybrida

(3) - Susceptible maïs mauvais [illegible]

3.5. Moyens de lutte

Il est nécessaire de combiner les moyens de lutte.

3.5.1. Prophylaxie

On évite la propagation des nématodes d'une parcelle à une autre ou d'une culture à une autre. Il faudrait nettoyer le matériel après chaque champ. Il faut éliminer tous les résidus de récolte.

3.5.2. Lutte culturale

- Rotation de cultures appropriées.
- Faire un labour profond en été pour remonter les nématodes et les dessécher.

3.5.3. Lutte variétale

Il existe des variétés résistantes aux nématodes.

3.5.4. Lutte chimique

Utilisation de nématicides à des doses précises.

3.5.5. Lutte physique

- Immersion totale, on les noie
- Utilisation de vapeur d'eau chaude sur le sol

3.5.6. Lutte biologique

- Utilisation de nématodes auxiliaires.
- Utilisation de champignons parasites qui poussent sur les nématodes (Verticilium).
- Installation de plantes nématicides qui sécrètent des toxines (œillet d'inde ou rose d'inde).
  Il existe des plantes pièges et il faudra arracher la plante et la brûler.

Chapitre III: les Insectes.

Intro

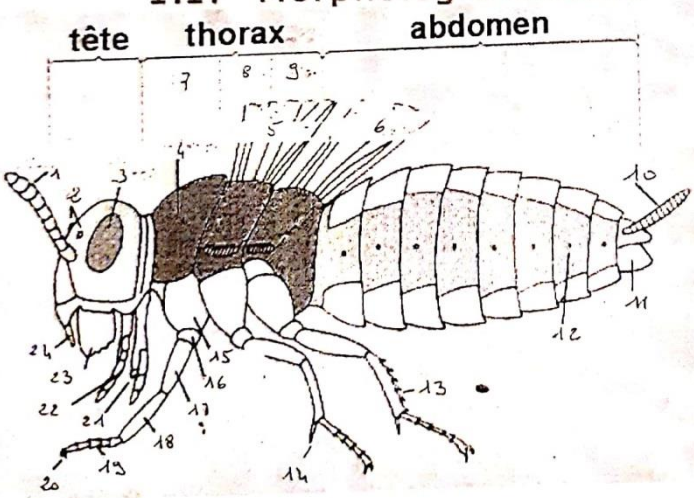
Classification justifiée :

- ★ Règne : Animal
  - Pas de chloroplastes
- ★ Embranchement : Arthropodes
  - Corps segmenté
  - Appendices articulés
  - Corps recouvert de chitine (squelette externe)
- ★ Classe : Insectes
  - Corps en 3 parties : tête – thorax – abdomen.
  - 3 paires de pattes
  - 2 paires d'ailes
  - 1 paire d'antennes segmentées

Les insectes :

- Représentent 80% des animaux
- Sont dans tous les milieux : terre, air, eau.
- Ont une très grande adaptation à la température.
- Ont une très grande capacité de reproduction
- Ont un squelette externe qui les protège

1.1. Morphologie externe

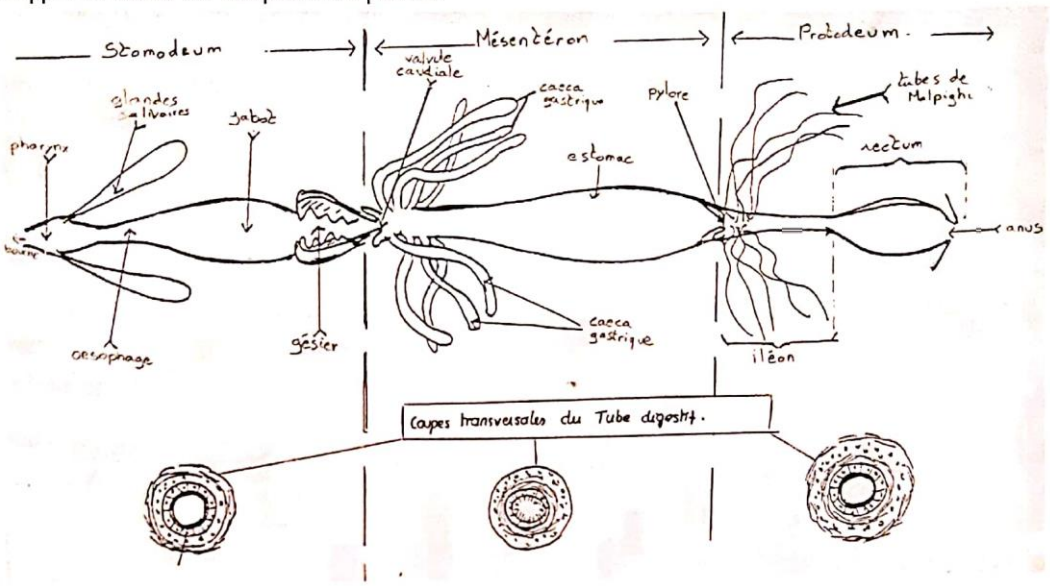


1. Antennes
2. Ocelles (yeux simples)
3. Œil composé
4. Pronotum
5. Ailes antérieures
6. Ailes postérieures
7. Prothorax
8. Mésothorax
9. Métathorax
10. Cerque
11. Organes sexuels
12. Stigmates (permet la respiration)
13. Epines
14. Eperon
15. Coxa ou hanche
16. Trochanter
17. Fémur
18. Tibia
19. Tarses
20. Griffe
21. Labium
22. Mâchoire
23. Mandibule
Labre

1.2. Anatomie de l'insecte

1.2.1. Appareil digestif

L'appa reil buccal est composé de 3 parties



1.2.1.1. 1ère partie : Le Stomodeum

Le **stomodeum** commence à la bouche et se termine au gésier.

- Rôle : Il sert à la **pré-digestion** des aliments

Cette partie est renouvelée à chaque mue.

Circuit de la pré-digestion des aliments :

1. Les aliments arrivent dans la bouche
2. Ils sont imprégnés de salive
3. Ils sont stockés dans le jabot
4. Le mélange aliment - salive passe dans le gésier pour y être broyé

1.2.1.2. 2ème partie : Le Mésentéron

Le **mésentéron** commence à la valvule caudiale et se termine au pylore.

- Rôle : il sert à la **digestion** (grâce aux enzymes contenues dans l'estomac)

Cette partie n'est pas renouvelée à chaque mue.

1.2.1.3. 3ème partie : Le Protodeum

Le **protodeum** commence au pylore et se termine à l'anus.

- Rôle : il sert à **l'excrétion des déchets**
  - La partie solide sera éliminée par l'**anus**
  - La partie liquide sera éliminée par les **tubes de Malpighi**

Cette partie est renouvelée à chaque mue.

1.2.2. L'appareil excréteur : Les tubes de Malpighi

Ces tubes varient entre 2 et 100 chez les insectes et sont accrochés au tube digestif à la limite entre le mésentéron et le protodeum.

Ces tubes servent à **filtrer l'hémolymphe** (équivalent du sang chez l'homme)

Une partie des sels minéraux peuvent être réabsorbés en fonction des besoins de l'ensecte.

Ex : Les pucerons rejettent du miellat.

1.2.3. L'appareil circulatoire

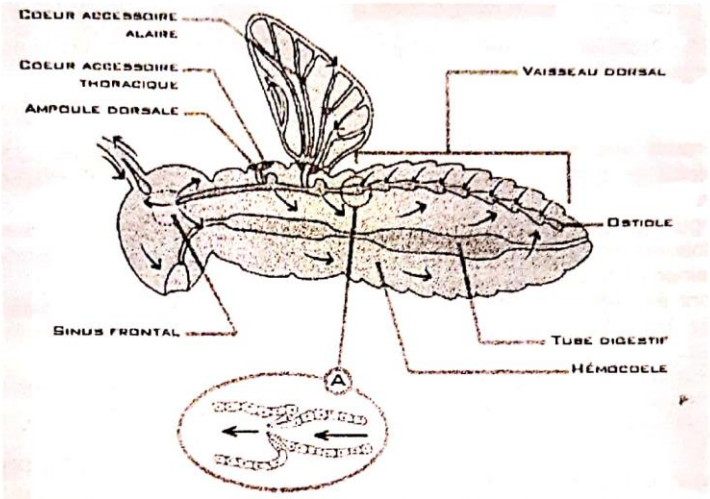


Schéma de l'appareil circulatoire des insectes

http://insectes.free.fr/Physiologie/Circulation/Circulation.htm

Le système circulatoire des insectes est **ouvert** et il permet à l'**hémolymphe** de **circuler** librement entre son tube et l'extérieur (il ne transporte pas d'oxygène).

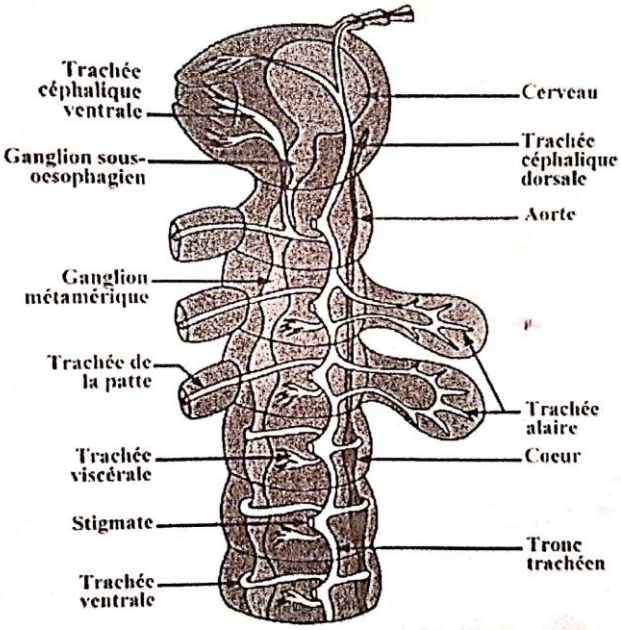
L'**hémolymphe** véhicule des **éléments nutritifs**, des hormones et les déchets qu'elle **conduit vers les tubes de Malpighi.**

Les mouvements de l'hémolymphe sont donnés par **les cœurs** (1 pour les ailes, 1 pour le reste du corps) et par la contraction des **ventriculites** (systole : contraction, diastole : relâchement).

1.2.4. L'appareil respiratoire

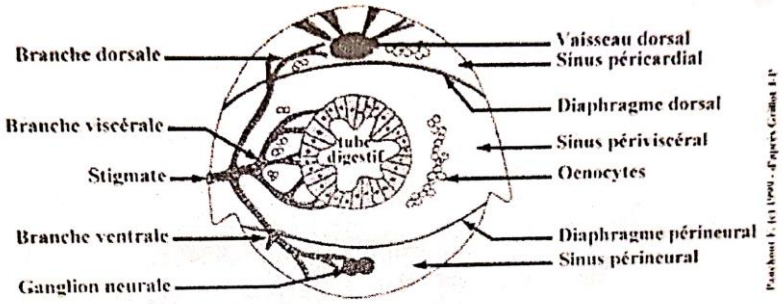
Il est constitué par un **système de trachées** qui **s'ouvrent vers l'extérieur** par des **stigmates** (8 paires sur l'abdomen, 2 paires sur le thorax en général).

Le système respiratoire des insectes est très particulier. En effet, il n'existe ni poumons ni globules rouges pour transporter l'oxygène et le dioxyde de carbone. Le système respiratoire est formé de trachées qui s'ouvrent sur l'extérieur par des stigmates.



Les troncs trachéens qui débouchent sur les stigmates se ramifient souvent en trois trachées (dorsale, viscérale, ventrale) de plus en plus étroites qui apportent l'oxygène au niveau cellulaire.

Les troncs trachéens qui débouchent sur les stigmates se ramifient souvent en trois trachées (dorsale, viscérale, ventrale) de plus en plus étroites qui apportent l'oxygène au niveau cellulaire.

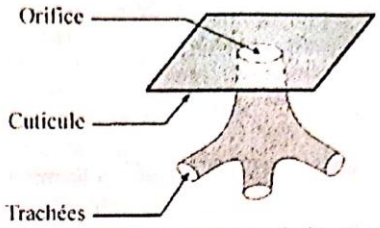


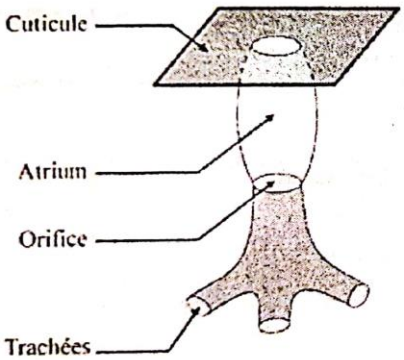
La ventilation met en jeu les contraction des muscles de l'abdomen et du thorax. Chez

http://insectes.free.fr/Physiologie/Respiration/Respiration_Principal.htm 18/09/02

Chaque stigmate contient un **opercule** qui lui permet de **s'ouvrir** ou de **se fermer.**

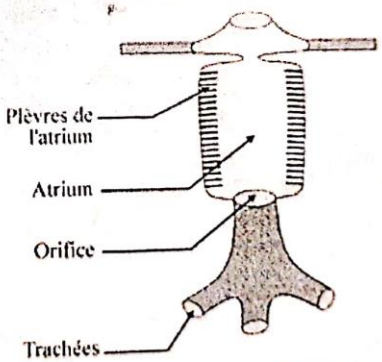
Les stigmates (appelés aussi les spiracles ou orifices stigmatiques) sont les zones d'échanges respiratoires entre l'organisme et son milieu. Le type primitif se rencontre par exemple chez les collemboles. Les trachées débouchent directement au niveau de la cuticule. Il n'y a aucun système de réduction des pertes en eau. Ceci s'explique par le fait que les insectes qui présente ce type de stigmate vivent dans un milieu humide. La perte d'eau n'est donc pas un facteur limitant au développement de l'individu.



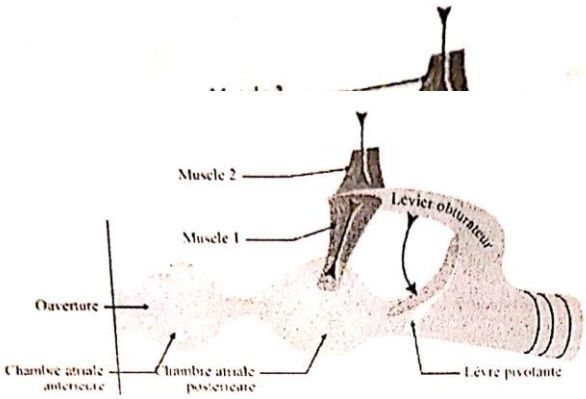


Cependant, tous les insectes ne vivent pas dans des milieu humides. L'accroissement de taille est aussi un facteur important qui conduit à des pertes en eau non négligeables pour l'insecte. C'est pourquoi il existe des atriums qui permettent de réduire cet effet.

Chez certaines espèces, l'atrium interne est beaucoup plus complexe. Il est tapissé de plèvres (des replis) qui permettent d'augmenter la surface de récupération, ce qui réduit d'autant les pertes d'eau.



Dans certains cas, la réduction des pertes d'eau est maximale. Entre la trachée et la chambre atriale, une lèvre pivotante permet d'obturer et d'arrêter tout échange avec l'extérieur. Cette lèvre est reliée à un levier qui est lui même actionné par deux muscles antagonistes.

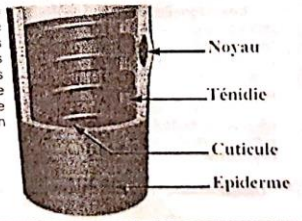


http://insectes.free.fr/Physiologie/Respiration/Respiration_spiracle.htm 18/09/02

Une fois que l'air est rentré par les stigmates, il est propulsé dans les trachées par contraction musculaire.

Chaque trachée est constituée de **Ténidies** (anneaux lui permettant de rester ouvert).

Les trachées sont des 'tubes' formés de cellules épidermiques recouvertes d'une cuticule très amincie afin de faciliter les échanges gazeux. L'intérieur présente des zones plus épaisses sous forme spiralée : les ténidies. Celles-ci permettent à la trachée d'éviter les collapsus. La terminaison s'effectue au niveau cellulaire par des trachéoles d'un diamètre compris entre 0,1 et 1 micron.



Toutes les images (dessins, animations et photographies), et textes ne peuvent être un quelque manière que ce soit altérés sans accord. Copyright 1999 - 2001

http://insectes.free.fr/Physiologie/Respiration/Respiration_trachée.htm

Remarque : Adaptation du système respiratoire

- ➔ Cas de insectes aquatiques
  - Dytique : Coléoptère vivant sous l'eau et qui, de temps en temps, remonte à la surface pour capturer une bulle d'air qu'il coince entre son corps et ses élytres.
  - Nèpe : ils s'enferment dans une bulle d'air
  - Libellule (larves) : un système « trachéobranchies » leur permet, comme les poissons, de prendre l'oxygène dissout dans l'eau.
  - Collemboles : Respiration directe à travers le tégument.

1.2.5. Le système nerveux

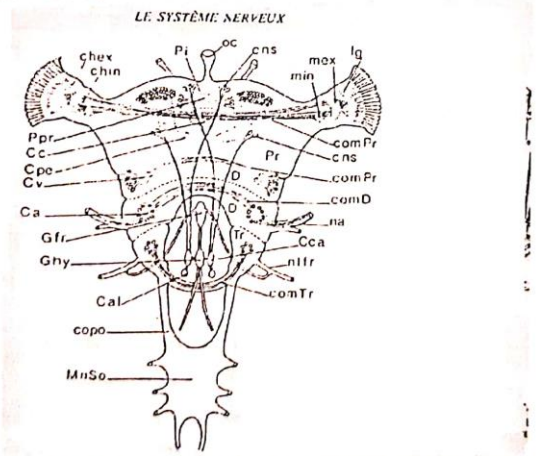
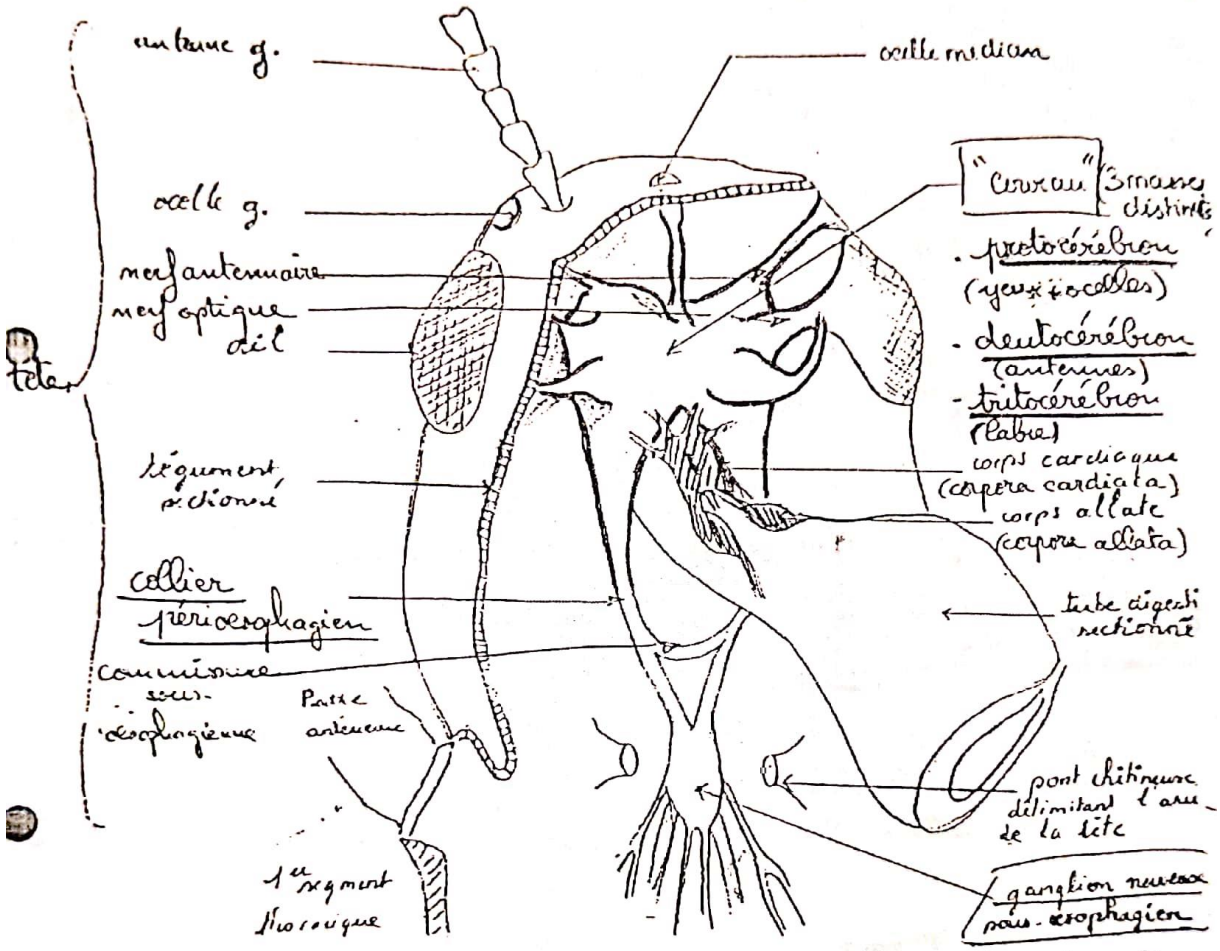


FIG. 5-3. — *Plan du cerveau et du système nerveux stomatogastrique* (d'après H. Weber). Ca: centre antennaire, Cal: corpus allatum, Cc: corps central, Cca: corpus cardiacum, clex: chiasma externe, chin: chiasma interne, ComD, ComPr, ComTr: commissures deutocérébrale, protocérébrale, tritocérébrale, cns: cellule neurosécrétrice, copo: connectif paraœsophagien, Cpe: corps pédonculé, Cv: corps ventral, D: deutocérébron, Gfr: ganglion frontal, Ghy: ganglion hypocérébral, lg: lamina ganglionaris, mex: medulla externe, min: medulla interne, MnSo: masse nerveuse sous-œsophagienne, na: nerf antennaire, nlfr: nerf labro-frontal, oc: ocelle, Pi: pars intercerebralis, Ppr: pont protocérébral, Pr: protocérébron.

Le système nerveux est constitué de 3 éléments :

- ★ **3 ganglions cérébroïdes** fusionnés :
  - **Protocérébron** : énerve les yeux composés et ocelles
  - **Deutocérébron** : énerve les antennes
  - **Tritocérébron :** énerve l'appareil buccal (labre)

©www.ennemis-agri.new.fr BIOLOGIE ANIMALE



"CERVEAU" D'UN CRIQUET (dessin semi-schématique : vue dorsale)

Système nerveux céphalique

(en vue supérieure)

[illegible] fusionné : commande les maxilles, les mandibules et

Système nerveux céphalique

(en vue supérieure)

- ★ **3 ganglions oesophagiens fusionnés** : commande les maxilles, les mandibules et le labium.
- ★ **1 double chaîne nerveuse ventrale** (1 paire de ganglion par segment) avec 3 ganglions thoraciques (+ 8 paires de ganglions abdominaux chez le criquet).

↳ Les insectes ont un **Système nerveux centrale**, ils sont **hyponeuriens.**

Remarque : Il existe aussi un **système nerveux sympathique** qui, lui, va commander les viscères de l'insecte.

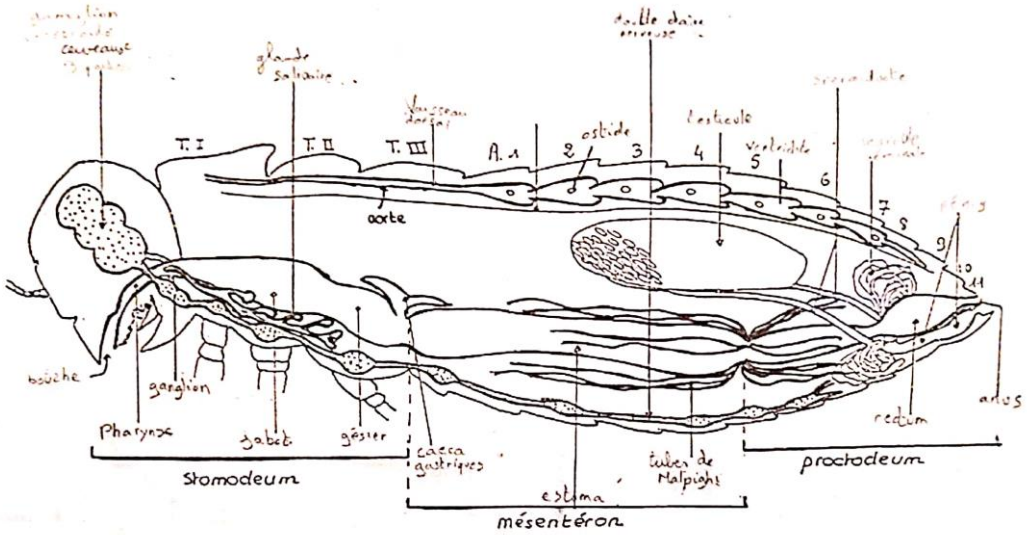


Fig. 2. Schéma de l'organisation générale du Criquet ♂

1.2.6. Le tégument chez les insectes

1.2.6.1. Structure

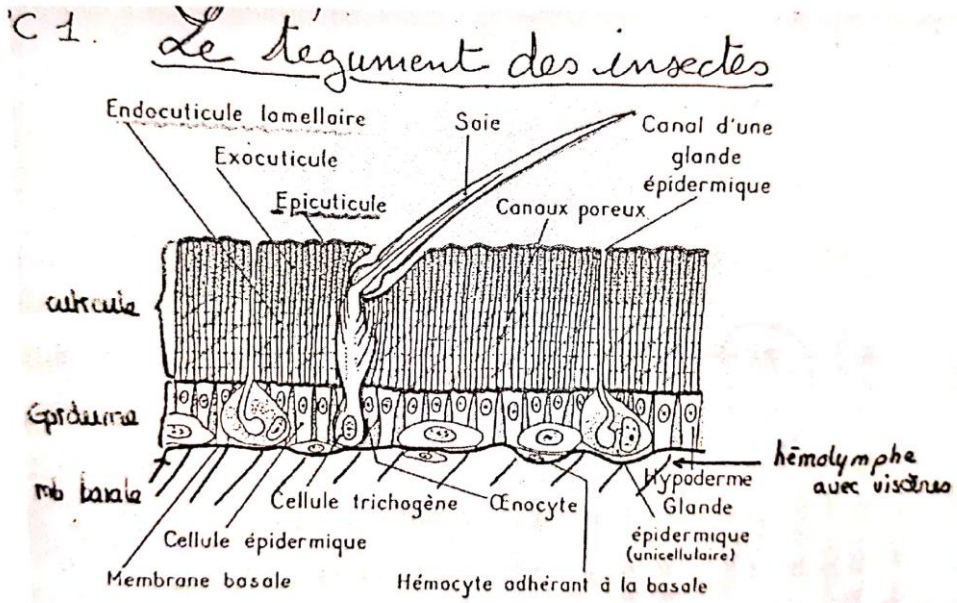


FIG. 116. — Structure du tégument d'un Insecte (cas du tégument à cuticule rigide) (d'après W.-B. WIGGLESWORTH, 1959).

gument chez les insectes constitue un **exosquelette**, qui est renouvelé à chaque mu

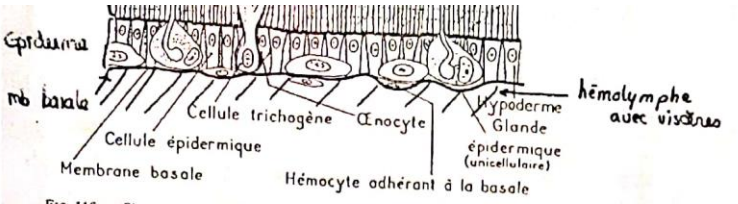
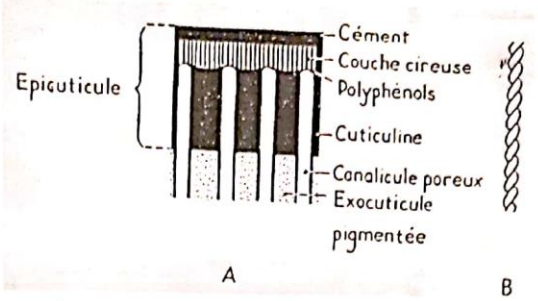


FIG. 116. — Structure du tégument d'un Insecte (cas du tégument à cuticule rigide) (d'après W.-B. WIGGLESWORTH, 1959).

Le tégument chez les insectes constitue un **exosquelette**, qui est renouvelé à chaque mue pour permettre la croissance de l'insecte.

Il est composé de 3 couches principales :

- ★ La **Membrane basale** (couche la plus interne)
  Elle sépare l'épiderme de la cavité viscérale de l'insecte qui contient l'hémolymphe.
- ★ L'**épiderme** :
  Il est constitué d'une **couche monocellulaire** qui contient **plusieurs types de cellules :**
  - Une couche de **cellules épidermiques**, entre laquelle on va trouver des **cellules glandulaires** qui possèdent un canal excréteur, qui traverse toute la cuticule pour sécréter le liquide exuvial lors des mues.
  - Des **cellules trichogènes** qui vont être à l'origine des soies
  - Des **cellules nerveuses et sensorielles**
- ★ La **cuticule** (couche la plus externe) :
  C'est une structure à **multicouches** qui comprend :
  - Une **épicuticule** (couche la plus externe)
    Elle est imperméable à l'eau et elle est incolore
    Elle est constituée de 4 couches :
    - ➢ Le cément (couche la +externe) : consolide la carapace et est recouvert de laque (effet protecteur)
    - ➢ Une couche cireuse : constituée de paraffine, d'ester d'acide gras et d'alcool primaire. Couche très mince et imperméable à l'eau
    - ➢ Une couche de polyphénols : elle a un rôle de soutien par rapport à la couche cireuse.
    - ➢ La cuticuline : elle est constituée de macroprotéïnes.



- Une **exocuticule** (couche moyenne)
  Elle est pigmentée et donne la couleur de l'insecte.
  Elle assure la rigidité de l'exosquelette.
  Elle est composée de 3 substances chimiques :
  - De la chitine : chaine de macromolécules de polysaccharides azotés. Elle est souple, perméable à l'eau, incolore, mais s'associe à une autre molécule (arthropodine) pour donner de la sclérotine.
  - De la résiline
  - De la sclérotine

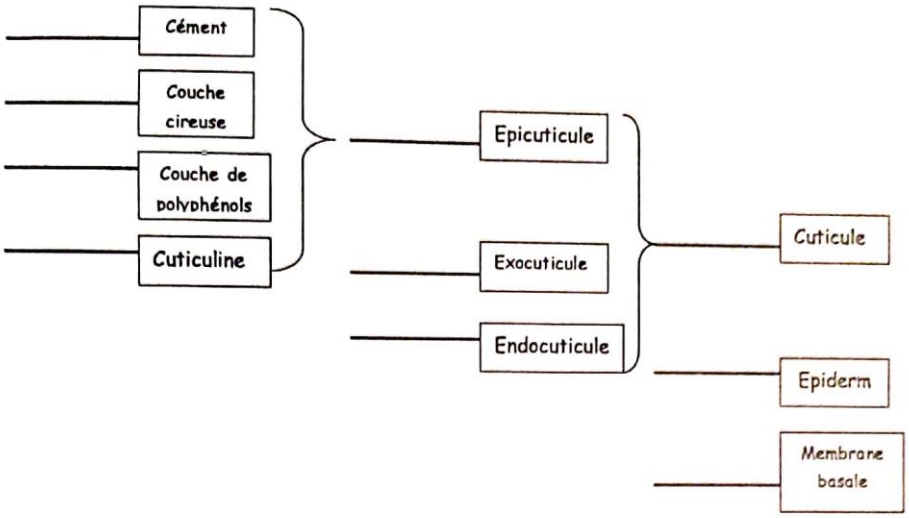
  L'épaisseur de l'exocuticule est très variable et très importante sur l'appareil buccal, mais absente au niveau des articulations et des stigmates.

- Une **endocuticule** (couche en contact avec l'épiderme)
  Elle est constituée d'un peu de chitine et de résiline.
  ➔ Plutôt souple
  Elle a toujours la même épaisseur.

1.2.6.2. Rôle de la cuticule

➔ Rôle de protection
- Physique : protection contre les chocs
- Chimique : barrière imperméable à l'eau mais pas au reste

➔ Rôle d'ornementation
La cuticule est très souvent colorée (+/- vivement) pour :
- Faire peur aux ennemis
- Attraction sexuelle
- Mimétique au milieu



1.2.7. Les yeux

1.2.7.1. Les yeux simples : ocelles

Il en existe 3, en général, chez les insectes, disposés sur le front.

Ils sont très développés chez les larves et servent à capter l'intensité lumineuse pour déclencher les différentes phases de mue.

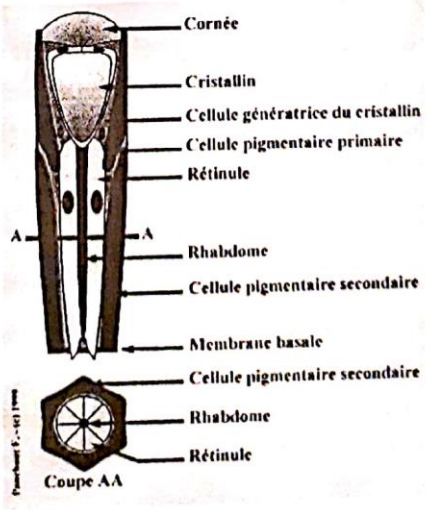
- Chez les larves holométaboles (développement complet) ce sont les seuls yeux
- Chez les larves hétérométaboles (les larves ressemblent aux adultes), ils possèdent des yeux composés + ocelles

1.2.7.2. Les yeux composés

Les yeux composés sont caractéristiques des insectes.

Ils sont composés d'une association d'unités visuelles : ommatidies.

- Chez certains insectes, la vision se fait en mosaïque, chaque ommatidie appose son image à celle d'à côté.
- Chez d'autres insectes, la vision se fait par superposition d'images (comme chez l'homme).



1.2.8. Les corps gras ou tissus adipeux

Les corps gras sont l'équivalent du foie chez l'homme, il a pour rôle de stocker les glucides et les graisses, et il a un rôle de détoxification (rendre pesticides inactifs).

Soit ils sont disséminés dans l'hémolymphe, soit ils sont constitués d'une masse à plusieurs lobes dans la cavité viscérale, sous contrôle hormonal.

1.2.9. Système endocrinien ou hormonal

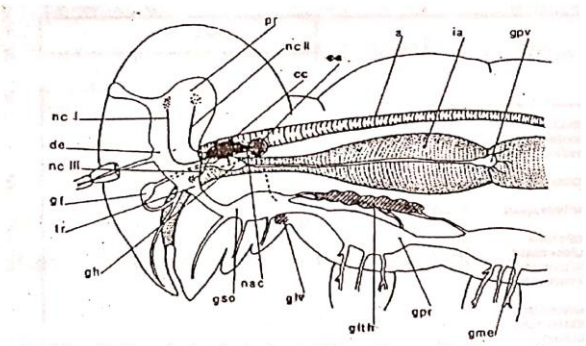


FIG. 6-1. — *Système endocrine chez les Insectes (l'innervation secondaire du* corpus allatum *est indiquée en pointillé).* a: aorte, ca: corpus allatum, cc: corpus cardiacum, de: deutocérébron, gf: ganglion frontal, gh: ganglion hypocérébral, glth: glande thoracique (glande de mue de divers Hétérométaboles 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 allato-cardiaque, ncI, ncII, ncIII: nerfs cardiaques I, II, III, pr: protocérébron, tr: tritocérébron.

1.2.9.1. Rôle

Ce système assure, avec le système nerveux, la coordination des organes, il permet aussi à l'insecte d'adapter sa physiologie aux conditions du milieu et de prendre en compte sa modification.

FIG. 6-1. — *Système endocrine chez les Insectes (l'innervation secondaire du corpus allatum est indiquée en pointillé).* a: aorte, ca: corpus allatum, cc: corpus cardiacum, de: deutocérébron, gf: ganglion frontal, gh: ganglion hypocérébral, gth: glande thoracique (glande de mue de divers Hétérométaboles et Holométaboles), glv: glande ventrale (glande de mue des Aptérygotes et de certains Hétérométaboles), gsa: ganglion mésothoracique, gpr: ganglion prothoracique, gpv: ganglion proventriculaire, gso: ganglion sous-oesophagien, ia: intestin antérieur, nac: nerf allato-cardiaque, ncI, ncII, ncIII: nerfs cardiaques I, II, III, pr: protocérébron, tr: tritocérébron.

1.2.9.1. Rôle

Ce système assure, avec le système nerveux, la coordination des organes, il permet aussi à l'insecte d'adapter sa physiologie aux conditions du milieu et de prendre en compte sa modification.

1.2.9.2. Principe de fonctionnement

Ce système fonctionne grâce à des **hormones** (messages chimiques) qui sont véhiculées par l'hémolymphe à l'intérieur de l'insecte.

1.2.9.3. Les organes du système endocrinien

★ **Organes sécréteurs**

- **Corpora cardiaca**
  Situé derrière le tritocérébron et relié par 3 paires de nerfs. Ils vont sécréter une hormone qui va aller au ganglion cérébroïde dans les cellules neurosécrétrices.
- **Corpora allate** (2)
  Elles sont reliées au corpora cardiaca et aux ganglions sous-oesophagien.

★ Organes de stockage

- **Glandes de mue**
  Elles sont soit ventrales (chez les primitifs), soit thoracique chez les insectes holométaboles ou hétérométaboles.
  Chez les insectes sans ailes, ces glandes de mue restent toute la vie, alors que chez les ptérygotes ces glandes disparaissent à l'âge adulte.

1.2.9.4. Les neuro-hormones

★ **L'hormone thoracotrope** (« Brain hormone »)
Elle est sécrétée dans le protocérébron par des cellules neuro-sécrétrices : des corpora cardiaca. Elle sert à contrôler la secrétion de l'hormone de mue et qui empêche l'entrée en diapause.

★ **L'hormone de mue : l'ecdysone**
Elle est sécrétée par les glandes de mue sous le contrôle de l'hormone thoracotrope. Elle sert à provoquer la stimulation de la mue.

★ **L'hormone juvénile : néoténine**
Elle est sécrétée par les corpora allate sous contrôle de l'hormone de mue. Elle permet le maintien des caractères larvaires. Plus le taux descend, plus il passe vite au stade suivant.

1.2.9.5. Processus de mue

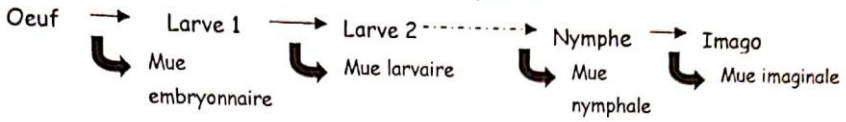
1. La mue commence par une multiplication cellulaire au niveau de l'épiderme par mitose.
2. Ces nouvelles cellules se décollent de la cuticule, ce qui va couper les canaux à liquide exuvial, donc le liquide s'écoule.
3. Les nouvelles cellules épidermiques vont former des couches qui vont être granuleuses, lamellaires, puis lamelles, ce qui va constituer les 3 sous couches de la cuticule.
   ↳ A ce stade, l'insecte possède son ancienne cuticule au dessus, et sa nouvelle en dessous
4. Seule l'endocuticuline est digérée par des enzymes du liquide exuvial (protéase et chitinase
5. La vieille cuticule va se déchirer entre la tête et le thorax, selon les lignes exuviales.
6. Pour faciliter le détachement, l'insecte se gonfle d'air ou d'eau puis il sort par l'avant et il abandonne son exuvie.
7. Il est incolore et mou et il continue à avaler de l'air pour tendre sa nouvelle cuticule.
8. Sa nouvelle cuticule va sclérotiniser, se colorer et il va y avoir sécrétion d'une cire lipidiqu qui va former la laque.

Les différentes sortes de mue

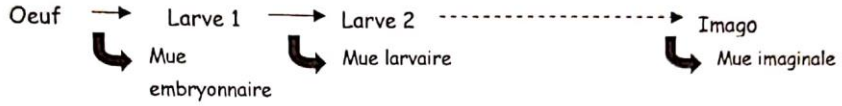
☑ Les **insectes primitifs** ou sans ailes : ils muent toute leur vie (**AMETABOLES**)

☑ Les **ptérygotes**

★ **HOLOMETABOLES** : la larve ne ressemble pas à l'adulte



★ **HETEROMETABOLES** : La larve ressemble à l'adulte



Remarque : Le nombre de mues larvaires est très variable d'une espèce à l'autre, voire d'un sexe à l'autre. Ce nombre peut aussi varier en fonction de l'alimentation et des hormones. Les mues nymphale et imaginale sont toujours les mêmes selon les espèces.

1.2.9.7. Facteurs déclenchant

- Facteurs externes
  - Photopériode
  - Température
  - Abondance de nourriture (plus il y a de nourriture, plus il se reproduit vite)
- Facteurs internes
  - Génome : propre à chaque espèce, programme le nombre de mues et l'intercale entre chaque mue.
  - Système hormonal

1.2.9.8. Déterminisme de la mue

La mue est sous contrôle hormonal, elle est déclenchée grâce aux facteurs extérieurs qui vont stimuler le ganglion cérébroïde.
Celui-ci va envoyer un message au protocérébron qui déclenche la sécrétion d'hormones thoracotropes.
Cette hormone va passer dans l'hémolymphe pour aller stimuler les corpora cardiaca qui vont sécréter l'hormone de mue : l'ecdysone.
Elle-même va exciter les glandes de mue pour qu'elle sécrète l'hormone juvénile : la néoténine.

La néoténine détermine le type de mue :

- Beaucoup de néoténine : mue larvaire
- Moyennement de néoténine : mue nymphale
- Peu de néoténine : mue imaginale

Facteurs internes

Facteurs { Température, Nourriture, Photopériodisme } → Ganglions cérébroïdes → Protocérébr

↓ Sécrétion

Hormone

↓ Hémolymphe

Corpora cardiaca + Glandes de

↓ Sécrétion

Ecdysone

↓

Glandes de mue

↓

Néoténine

↓ Mue

Multiplication cellulaire par mitose dans l'épiderme + coupure des canaux à liquide

↓

Couche pré-exuviale

↓

Epicuticule

↓

Exocuticule

↓

Endocuticul

↓

Chitine souple et

↓

L'ancienne endocuticule va être digérée par les enzymes du liquide exuvial

↓

Déchirure

↓

Gonflement d'air

↓

Sortie par l'avant de

↓

Corps mou et transparent

↓

Piamentatio

↓

Sclérotinisation

↓

Acide lipidique

1.2.10. La métamorphose

1.2.10.1. Définition

C'est l'ensemble des transformations qui permettent à la larve de devenir adulte.
Cette métamorphose est :

- Complète chez les holométaboles
- Incomplète chez les hétérométaboles

Elle se fait grâce au système endocrinien par des transformations histologiques.

1.2.10.2. Mécanisme

La métamorphose se fait en 3 étapes :

★ **Formation de nouveaux organes imaginaux**
Elle se fait grâce à des cellules indifférenciées qui existent depuis l'état embryonnaire. Elles sont en général regroupées sous forme de disques imaginaux et elles reprennent une activité et se différencient à partir de la mue nymphale pour donner de nouvelles ailes, des nouvelles pattes...etc.

★ **Disparition des organes larvaires spécialisés**
Il faut fair disparître les organes larvaires qui n'ont plus d'utilité (appareil buccal, organes de reptation, glandes sericigènes (soie), glandes de mue...)
Il y a autodigestion (ou autolyse) enzymatique des appareils larvaires spécifiques. Tous les déchets sont éliminés dans l'hémolymphe et évacués à la fin de la nymphose.

★ **Transformation de certains organes larvaires**
Elle se fait sous contrôle hormonal et permet de transformer les antennes, les tubes de Malpighi, certains muscles, les ostioles.

1.2.10.3. Contrôle hormonal

La larve reçoit des stimulations sensorielles qui sont perçues par ces cellules nerveuses, elles vont déclencher l'action des glandes hormonales qui vont libérer les hormones pour déclencher la métamorphose :

- L'hormone de mue (ecdysone) -> agit pour la dernière fois
- L'hormone juvénile (néoténine)

1.2.10.4. Facteurs déclenchant

★ Facteurs internes : génome
★ Facteurs externes :
  - Température
  - Photopériodisme
  - Nourriture
  - Etat de développement larvaire
  - Population (pour le maintien de l'espèce)

1.3. Les appareils reproducteurs ou génitaux

1.3.1. Types de reproduction

On liste 2 types de reproduction chez les insectes :

- ★ Reproduction SEXUEE : nécessite un mâle et une femelle, individus différents dans une même espèce.
- ★ Reproduction ASEXUEE ou PARTHENOGENESE (Ex chez les pucerons) : Pas besoin d'accouplement, une femelle donnera naissance soit à des mâles soit à des femelles. Individus identiques (clones).

1.3.2. L'appareil reproducteur mâle

1.3.2.1. Anatomie

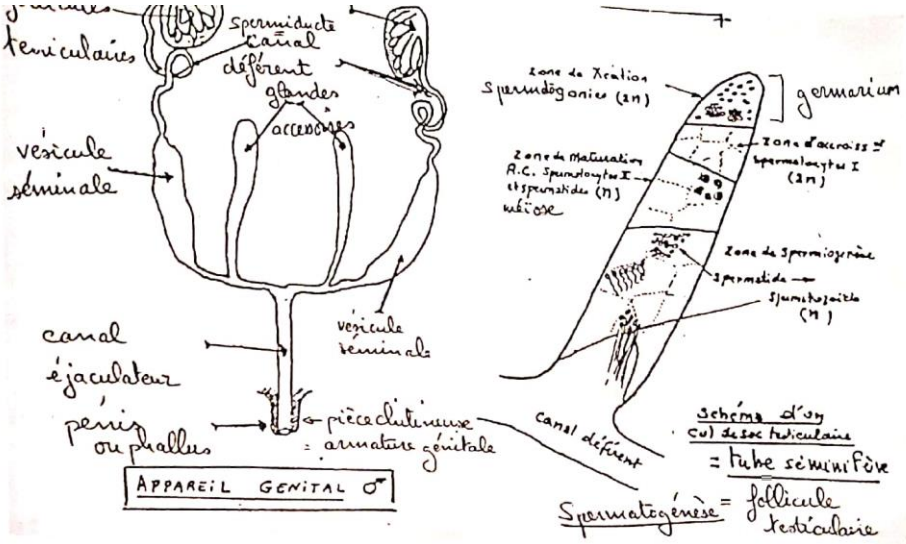
Il est situé au dessus du tube digestif dans la partie postérieure de l'abdomen.
Il est constitué par **2 testicules** qui comportent des **follicules testiculaires ou tubes séminifères** (zone où vont se produire les spermatozoïdes) qui débouchent dans un **spermiducte ou canal déférent** pour arriver dans la **vésicule séminale** qui va stocker temporairement les spermatozoïdes.
A la sortie des vésicules séminales **2 glandes accessoires** sécrètent des **agents protecteurs (sperme).** Le tout sera évacué par le **canal éjaculateur** terminé par le **pénis ou organes copulateurs.**

1.3.2.2. Spermatogenèse

Dans chaque follicule testiculaire il existe 4 zones :

- ★ Zone Germarium : multiplication cellulaire. Constituée par un lot de cellules indifférenciées : Spermatogonies (2N)
- ★ Zone d'accroissement : les spermatogonies grossissent et deviennent spermatocytes I (2N).
- ★ Zone de maturation : Les spermatocytes I vont subir une méiose (réduction chromatique) pour se transformer en spermatides (N).
- ★ Zone de spermiogénèse : les spermatides vont créer leur tête (acrosome) et vont acquérir leur flagelle pour devenir mobile et devenir des vrais spermatozoïdes qui vont s'accumuler dans les vésicules séminales.

Tout cela est possible dès que l'insecte a atteint l'age adulte.



L'appareil reproducteur mâle produit les spermatozoïdes au niveau de deux testicules elles même formées de nombreux tubes séminifères. De chaque testicule part un canal déférent qui s'élargie au niveau distal en une vésicule séminale. Les deux canaux se jettent dans le canal éjaculateur qui est entouré d'un pénis. Se sont généralement les différentes structure cuticulaire du pénis qui intéressent les entomologiste professionnel pour déterminer des espèces proches.

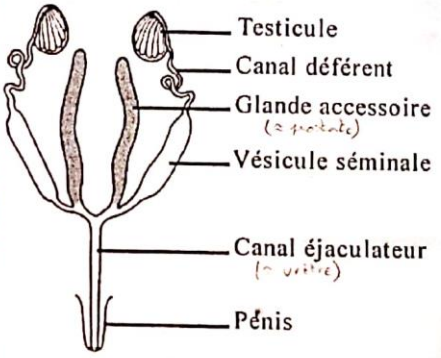


Schéma de l'appareil reproducteur mâle

Comme chez les femelles, les spermatozoïdes se forment dans la partie la plus profonde du tube séminifère : le germarium. Comme chez les femelles, ces cellules primordiales se multiplient par mitose. Chaque cellule donne ainsi naissance jusqu'à 256 autres cellules. Puis, les cellules formées passent alors dans la zone de maturation où elles subissent la méiose. Finalement, les cellules atteigne la zone de spermiogenèse : les spermatides se transforment en spermatozoïdes fonctionnels.

1.3.3. L'appareil reproducteur femelle

1.3.3.1. Anatomie

Il est constitué par 2 ovaires formés d'ovarioles qui débouchent sur un oviducte qui vont se rejoindre pour former un oviducte commun (utérus) prolongé par une chambre atriale (lieu d'accouplement). De chaque côté on a 2 glandes collétiques qui sécrètent un mucus de protection. On retrouve une spermathèque qui va stocker les spermatozoïdes.

1.3.3.2. Ovogénèse

Il existe dans le germarium un stock d'ovogonies (cellules indifférenciées) à 2N chromosomes et vont se multiplier pour donner des ovocytes à 2N. Ces ovocytes passent dans le vitellarium et vont s'entourer de vitellus (substance nourricière de réserve) ou vont s'entourer d'un follicule. Les ovocytes vont entrer en méiose à ce stade. Ils restent bloqués dans la 1ère phase de méiose puis vont être expulsés dans l'utérus. Ils passent à l'état d'ovule à N chromosomes. Le déblocage se fait uniquement si les conditions sont favorables.

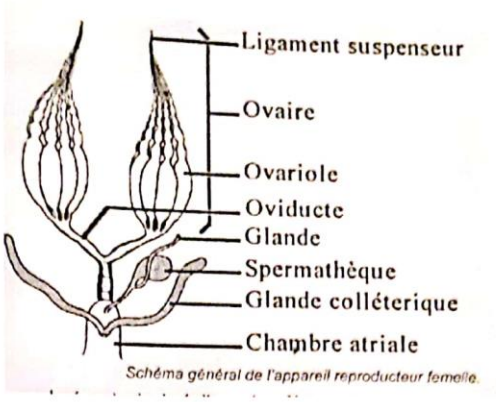


Schéma général de l'appareil reproducteur femelle.

1.3.4. Fécondation

Les femelles possèdent des ovocytes en 1ère phase de méiose dans l'utérus et des spermatozoïdes dans la spermathèque. Quand les conditions sont favorables, la femelle libère les spermatozoïdes de la spermathèque qui arrivent dans l'utérus et cette libération va provoquer la 2ème phase de méiose des ovocytes pour les transformer en ovules.
Il y a alors fécondation et formation d'œuf à 2N chromosomes. Ces œufs sont pondus, en général par paquet, et vont être entourés par les sécrétions des glandes collétiques pour les coller et les protéger.
Accouplement et fécondation peuvent être en même temps ou décalés dans le temps.

1.3.5. Reproduction par parthénogenèse

C'est le développement d'un insecte à partir d'un œuf qui n'est pas fécondé.

→ Soit la femelle va donner naissance à que des femelles
  - Parthénogenèse THELYTOQUE

→ Soit la femelle va donner naissance à que des mâles
  - Parthénogenèse AUTHENOTOQUE

→ Soit la femelle va donner naissance à que des femelles et mâles
  - Parthénogenèse DEUTEROTOQUE

INCONVENIENT : La parthénogenèse ne permet pas le brassage génétique (tous les individus sont identiques à la mère), ainsi ils sont très fragiles aux insecticides.

AVANTAGE : Reproduction extrêmement rapide qui permet de perpétuer l'espèce.
La parthénogenèse est soit :

- Facultative : uniquement si les mâles sont absents et que la reproduction sexuée est impossible.
- Obligatoire :
  - Défini : si c'est le seul mode de reproduction.
  - Cyclique : alternance sexué/Non sexué (ex des pucerons).