

Nutrition chez les insectes

Introduction

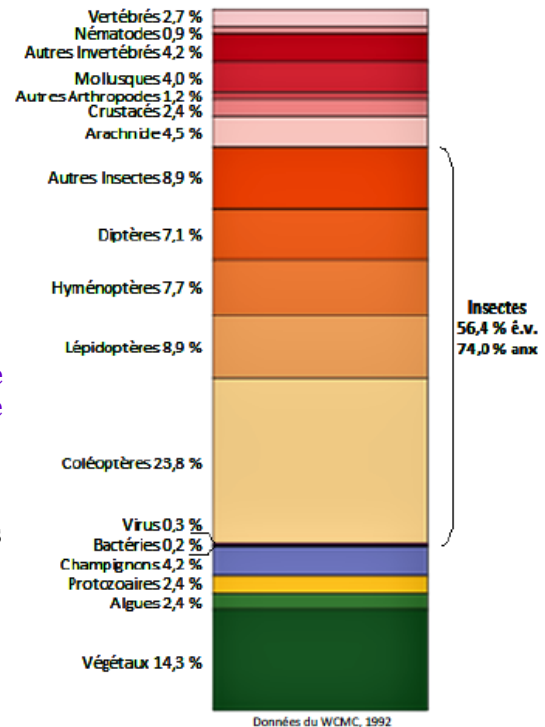
Les insectes appartiennent au **sous-embranchement des Hexapodes**.

Ils constituent le taxon le (+) large en terme d'espèces parmi tout le vivant avec environ 1 000 000 d'espèces actuellement connues et possiblement jusqu'à 100 000 000 selon les (+) hautes estimations.

Les insectes présentent un **plan d'organisation très conservé/homogène d'une espèce à l'autre** mais présentent une **variabilité énorme d'un point de vue écologique**.

=> Ils occupent une grande variété d'habitats

- Ils ont colonisés tout les types de milieux à l'exception des milieux marins.
- On les trouve sous tout types de climats.



La variabilité des habitats s'accompagne d'une variabilité des régimes alimentaires, qui se traduit par des **adaptations** :

- **Morphologiques**
=> Exemple : Modifications des pièces buccales
- **Comportementales et écologiques**
=> Exemple : Trophallaxie
- **Physiologiques**
=> Exemple : Présence d'enzymes spécialisées

Fonction de nutrition

=> La fonction de nutrition inclut différentes étapes :

- Recherche et prise alimentaire
- Digestion et absorption
- Assimilation des nutriments
- Rejet/excrétion des déchets

Régimes alimentaires trouvés chez les insectes :

- **Phytophagie**
 - Fleurs (Ex : temognathe)
 - Nectar (Ex : Abeilles)
 - Feuilles (Ex : Doryphores)
 - Racines (Ex : larves de Melolonthinae)
 - Tiges ou branches (Ex : Scolytes)
 - Fruits (Ex : larve de noctuelle)
 - Sève (Ex: Pucerons)

➤ **Zoophagie**

=> (+) ou (-) spécialisée

- « Prédateurs » (Ex : mante religieuse)
- Hématophagie (Ex : Moustiques femelles)
- Parasite (Ex : larve de mouche myasigène)
- Parasitoïdes (Ex : certaines guêpes)

➤ **Saprophagie**

=> Consommation de matière organique végétale ou animale en décomposition

=> Exemples : Termites, mouches Calliphoridae, Bousier, larve de Lucane cerf-volant

➤ **Filtration**

=> Présence de structures spécialisées ou modification des pièces buccales

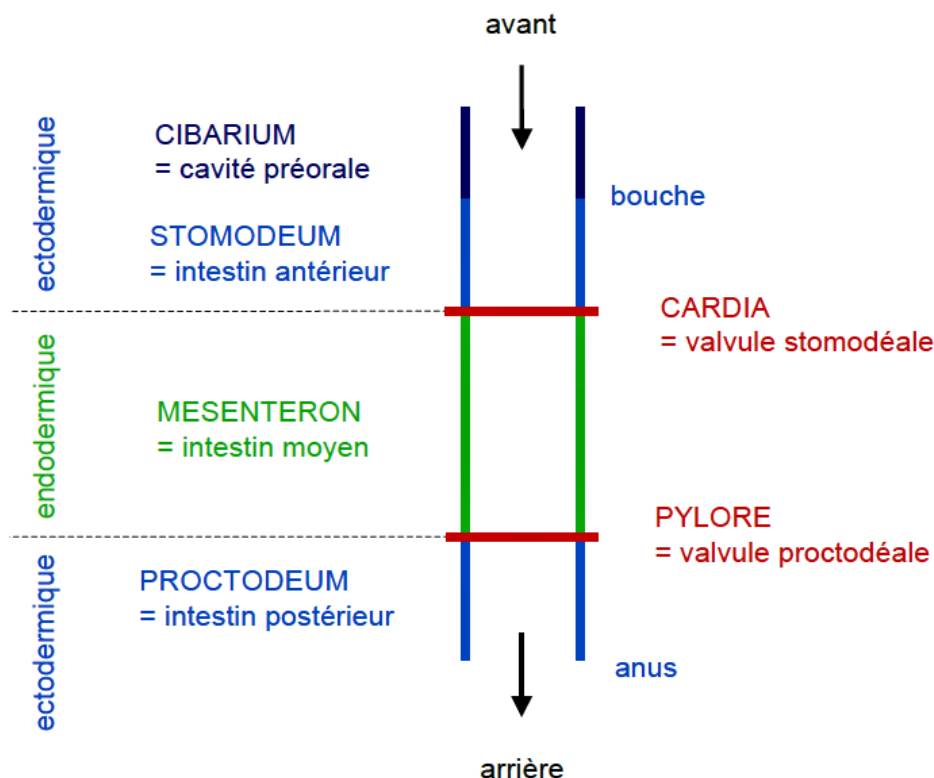
- Larves de moustique
- Trichoptère (tissage d'un filet)
- Larves de simule (pièces buccales modifiées)

Selon les espèces, les insectes sont **monophages** (un seul type d'aliment/de ressource) **ou polyphages** (plusieurs types d'aliment/de ressource).

On observe parfois une modification du régime alimentaire entre le stade larvaire et le stade imago.

I. Structure et fonction du tractus digestif

STRUCTURE GENERALE DU CANAL ALIMENTAIRE DES INSECTES



Le tractus digestif d'un insecte est **complet** (ouverture à l'avant par la bouche et à l'arrière par l'anus) **associé à une musculature relativement fine** et est **maintenu en place par le réseau trachéen**.

➤ Origine **ectodermique** :

- (- Cibarium) => n'appartient pas au tractus digestif
- Stomodeum
- Proctodeum

=> Stomodeum et proctodeum ont un rôle mécanique et sont recouverts d'une intima cuticulaire, renouvelée à chaque mue, assurant la protection de la paroi intestinale.

➤ Origine **endodermique** :

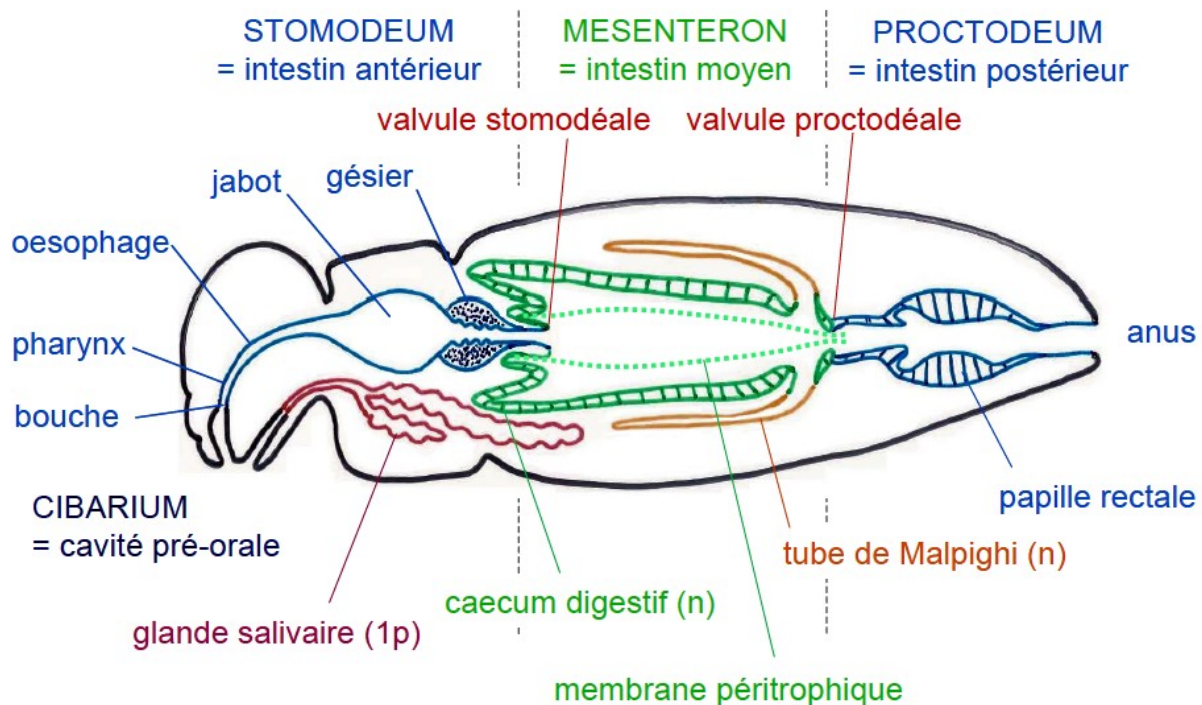
- Mésentéron

=> Le mésentéron joue un rôle dans l'absorption des nutriments.

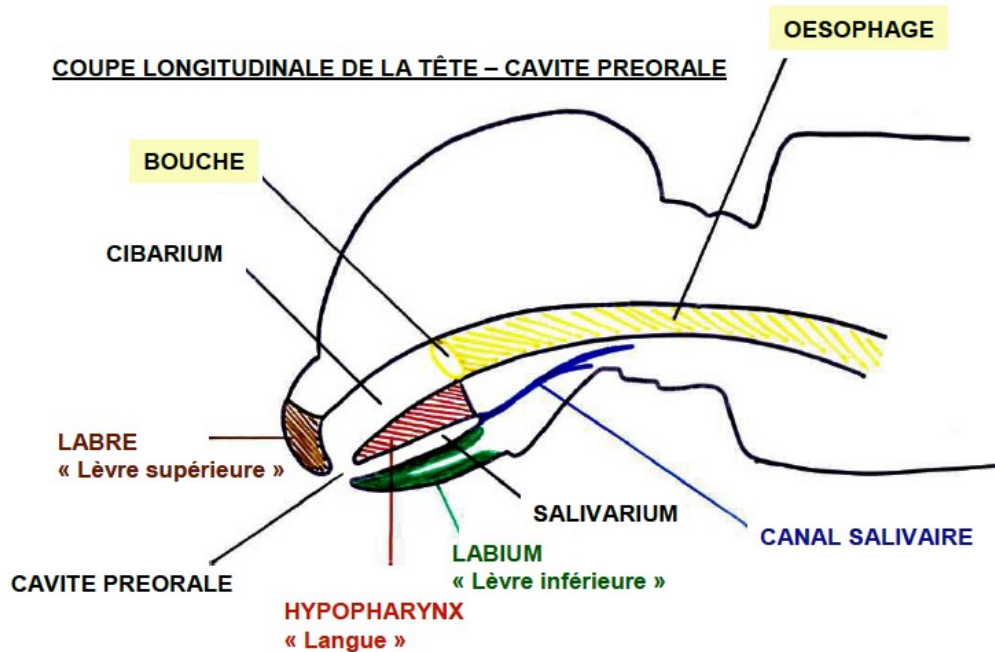
Les 3 parties constituant le tractus digestif sont séparées les unes des autres par des muscles sphincters (muscles en forme d'anneau), dont la contraction (+) ou (-) importante permet de gérer le passage du bol alimentaire d'une partie à une autre

- Le **cardia** ou **valvule stomodéale**, qui **sépare le stomodeum du mésentéron**.
- Le **pylore** ou **valvule proctodéale**, qui **sépare le mésentéron du proctodeum**.

ANATOMIE FONDAMENTALE D'UN TUBE DIGESTIF D'INSECTE



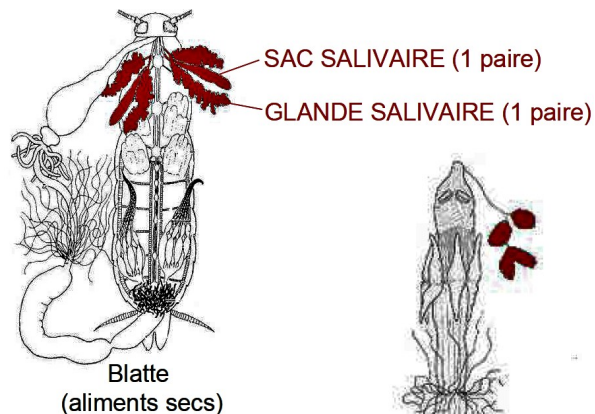
A) La cavité préorale et les glandes salivaires



La **cavité pré-orale** correspond à un espace en avant de la bouche, intégrant le cibarium ainsi que le salivarium et étant délimité par les pièces buccales (dorsalement par le labre, ventralement par le labium et latéralement par les maxilles).

Glandes salivaires :

- En générale on trouve **une paire de glandes salivaires**, associée à une paire de sacs salivaires.
- **Forme variable en fonction du régime alimentaire**, notamment en fonction de si les aliments sont secs ou hydratés.

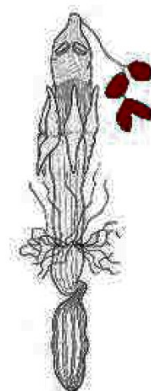


Rôles de la salive :

- **Lubrification des aliments.**
- **Début de la digestion**
=> Via des amylases, des maltases ...
- **Ajustement du pH**
=> 6-7, pH neutre compatible avec les enzymes digestives.

=> Chez certaines espèces :

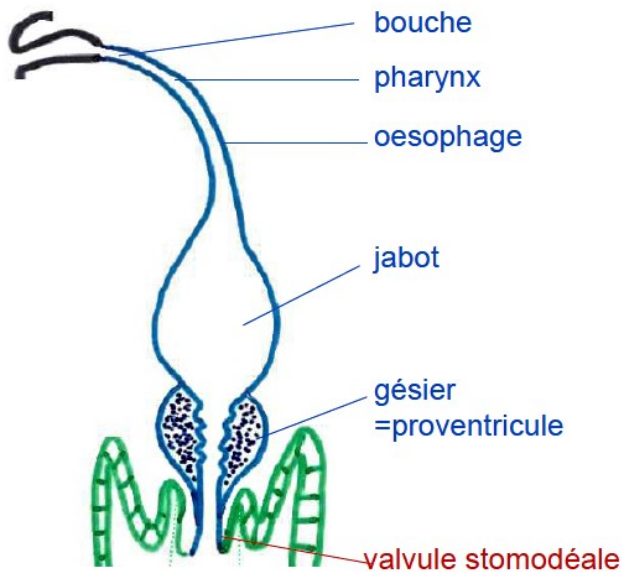
- **Sécrétion de soies**
- **Sécrétion de venin** entraînant la formation de galls
- **Construction d'abris**,
=> Chez les guêpes par exemple



Criquet
(aliments hydratés)

B) Intestin antérieur, le stomodéum

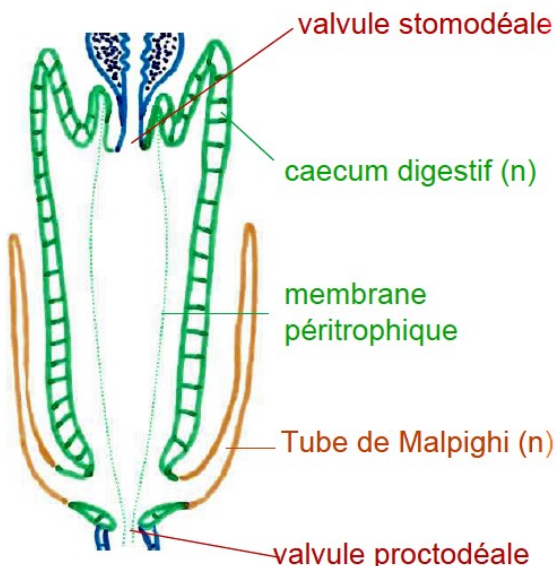
STOMODEUM
= intestin antérieur



- **Origine ectodermique**
- **Rôle essentiellement mécanique**
- Présence de **muscles pharyngiens dilatateurs qui agissent comme une pompe**
- **Jabot** : Poche de stockage de la nourriture pouvant être (+) ou (-) développé (ou absent dans certains cas), présentant parfois des diverticules.
 - **rôle dans la digestion** : début de digestion par les enzymes salivaires et par les enzymes intestinales, qui remontent.
 - **rôle dans la mue** : gonflement par aspiration d'air, qui va permettre de faciliter la séparation de l'ancien exosquelette.
- **Gésier présentant des dents sclérotinisées**, permettant un broyage et/ou un tri (présence de plis fonctionnant comme un tamis) des aliments.
=> Il est parfois absent ou réduit

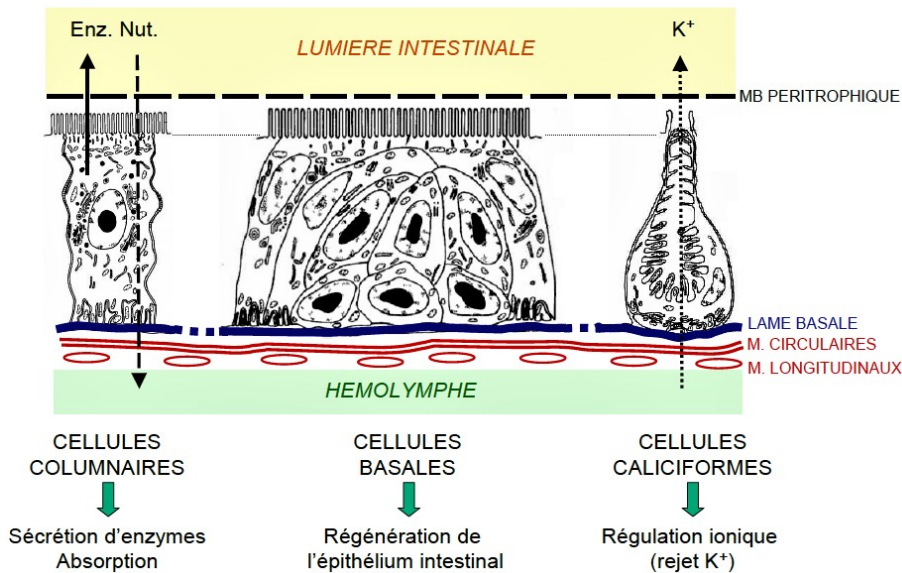
C) Intestin moyen, le mésentéron

MESENTERON
= intestin moyen



- **Origine endodermique**
- **Rôle digestif** :
 - Forme très variable selon le régime alimentaire
 - Sécrétion d'enzymes
 - Absorption des nutriments
 - Régulation ionique de l'animal
- **Épithélium digestif particulièrement fin**
=> Une seule couche de cellules

STRUCTURE HISTOLOGIQUE DU MÉSENTÉRON



On trouve essentiellement 4 types de cellules au sein du mésentéron :

➤ Cellules columnaires

- Principal type de cellules mésentériques.
- Bordures en brosse.
- Rôle dans la sécrétion d'enzymes et l'absorption de nutriments.
- Durée de vie très courte.
- Remplacées grâce aux cellules basales.

➤ Cellules basales

- Cellules formant des amas.
- Rôle dans le régénération de l'épithélium intestinal (notamment des cellules columnaires).

➤ Cellules caliciformes

- Pas chez toutes les espèces.
- Régulation ionique (rejet K⁺).

➤ Cellules endocriniennes

=> Régulation de la synthèse des enzymes digestives

Cæcums digestifs

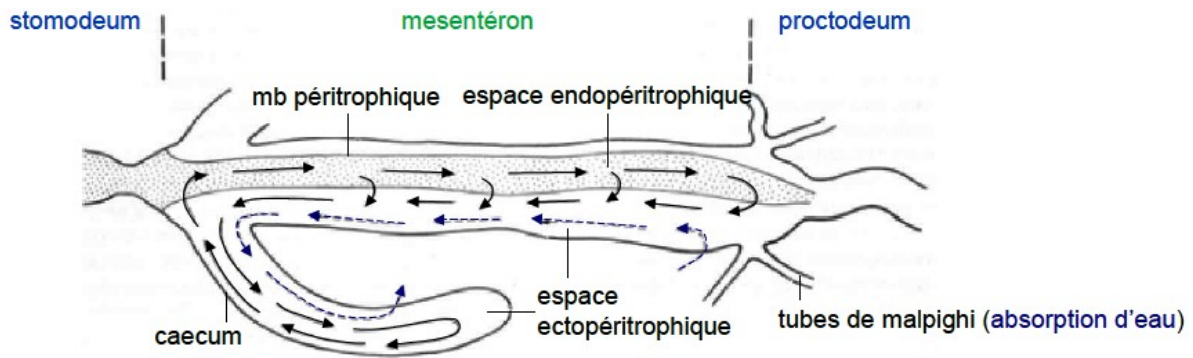
=> Les **cæcums digestifs** correspondent à des **digitations du mésentéron situées antérieurement, sous la valvule stomodéale**.

- Variables en taille et en nombre.
- Permettent une augmentation de la surface d'absorption.
- Peuvent abriter des organismes symbiotiques.

Membrane péritrophique

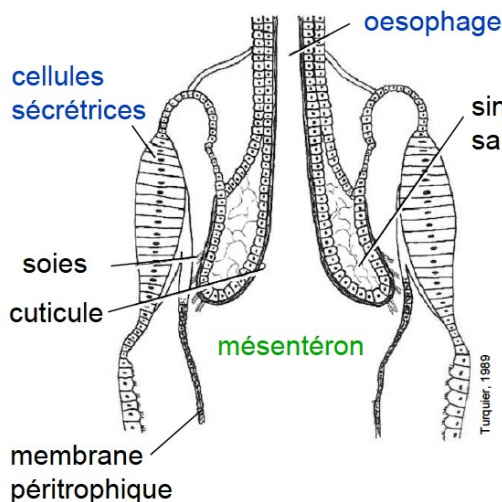
=> La **membrane péritrophique** est une membrane d'origine embryonnaire endodermique (non recouverte de cuticule), formée de chitine et enveloppée dans des glycoprotéines, déterminant 2 espaces, l'espace ectopéritrophique et l'espace endopéritrophique. Elle a **2 rôles majeurs** :

- Constitue un **filtre**, perméable aux enzymes digestives et aux nutriments, mais imperméables aux macromolécules, bactéries, certains virus et agents toxiques.
- Rôle de **facilitation du brassage alimentaire**
=> Absorption d'eau par les tubes de Malpighi qui va entraîner les particules vers l'avant du tube digestif, permettant ainsi la circulation du bol alimentaire entre les 2 espaces.



On distingue 2 principaux modes de formation de la membrane péritrophique :

➤ **Membrane péritrophique de sécrétion**



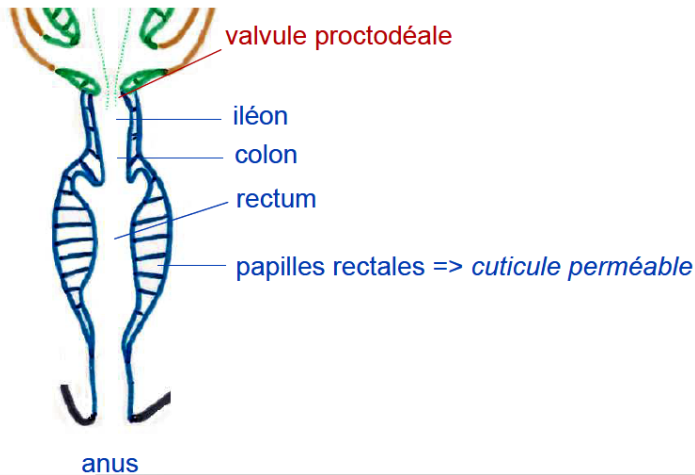
- Origine pro-ventriculaire
- Cellules columnnaires spécialisées
- Évacuée avec les fèces

➤ **Membrane péritrophique de délamination**

- Origine mésentérique
- Sécrétion en continue
- Forme des « Sacs », qui sont évacués par l'anus

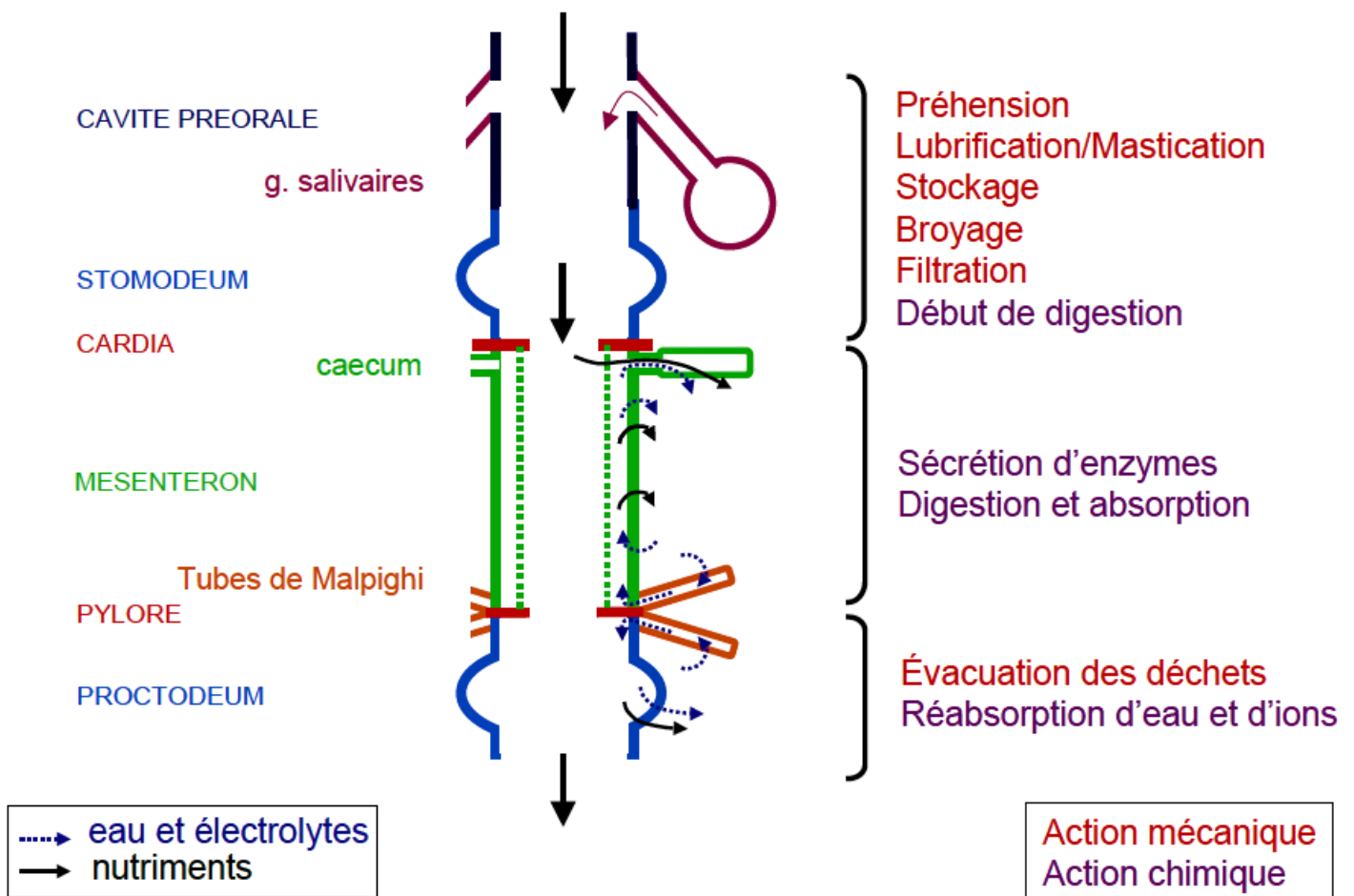
D) Intestin postérieur, le proctodeum

PROCTODEUM
= intestin postérieur



- **Origine ectodermique**
- **Rôle mécanique :**
 - Évacuation des déchets et des produits d'excrétion
 - Réabsorption d'eau et d'ions
- Différencié en **3 parties** iléon/colon/rectum, ne présentant cependant **pas de similarité de fonction avec les Vertébrés**.
- Présence d'une **intima perméable** au niveau du rectum/des papilles rectales.
- **Ampoule rectale** : Renflement du rectum formé de cellules très allongées, jouant un rôle dans la réabsorption d'eau et d'ions.

E) Synthèse



II. Repérage et préhension de la nourriture

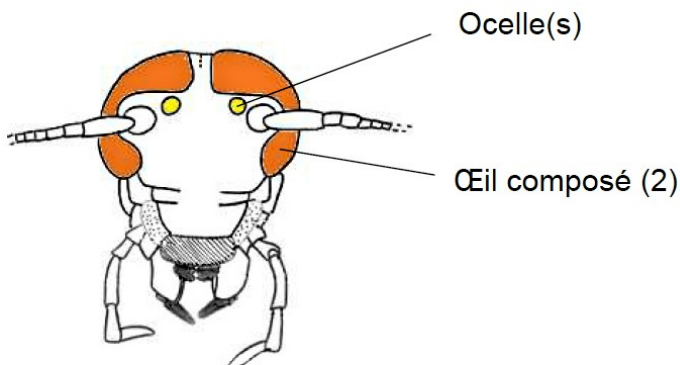
A) Les organes de repérage mis en œuvre dans l'alimentation

Les organes sensoriels sont généralement externes, on en trouve partout sur le corps dont une large majorité sur les différents appendices (antennes, pattes, pièces buccales).

1. Photorécepteurs

Les photorécepteurs sont probablement les récepteurs sensoriels qui sont apparus en premier chez les insectes (et même chez la plupart des organismes) dans la mesure où la lumière est un signal (quasi)-instantané.

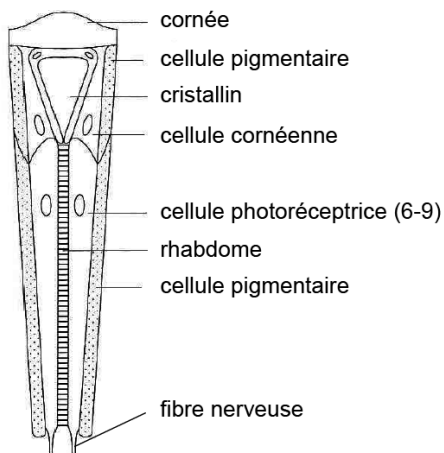
On distingue 2 types de photorécepteurs chez les insectes :



➤ Les **ocelles**, photorécepteurs simples permettant une mesure de l'intensité lumineuse.

➤ Les **yeux composés**, servant à la vision.

- Un œil est constitué de **n ommatidies**, chacune fonctionnant de façon indépendante et étant elles mêmes constituées de 6 à 9 cellules photoréceptrices.

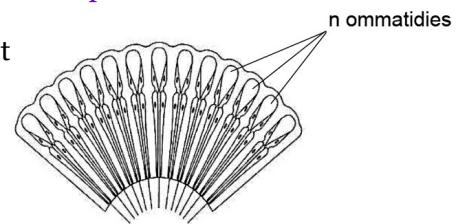


- Chaque cellule photoréceptrice est constituée de **3 parties** :

- Corps cellulaire
- Rhabdome
- Fibre nerveuse

=> L'ensemble des rhabdomères forme le **rhabdome**

- Les cellules pigmentaires servent à empêcher le passage latéral de la lumière d'une ommatidie à une autre
=> Chez les espèces nocturnes, les cellules pigmentaires se rétractent



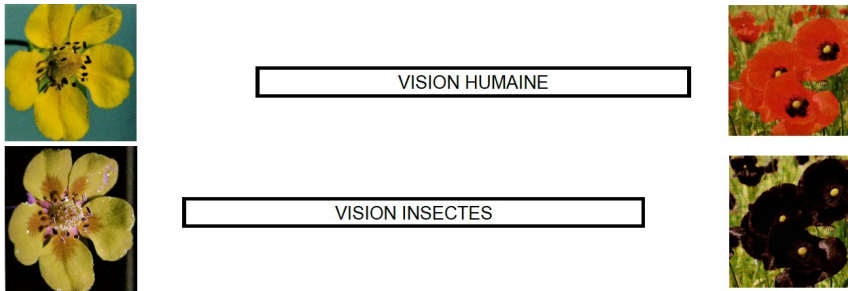
Une ommatidie ne va percevoir qu'une seule partie de l'image, la vision est pixelisée.

- C'est le cerveau qui va associer les différentes images.
- (+) le nombre d'ommatidies est important, (+) la résolution est élevée.
- Les zoophages « prédateurs » présentent généralement un nombre important d'ommatidies pour détecter le moindre mouvement.



Perception des couleurs chez les insectes

- Les insectes présentent une vision des couleurs décalée dans le domaine des ultraviolets par rapport à la vision humaine.
=> Ils perçoivent très peu ou pas du tout le rouge



- La perception des couleurs n'est pas nécessairement continue.
=> Chez l'abeille, la perception des couleurs est utilisée essentiellement lorsqu'elle recherche du nectar (en vol stationnaire).

2. Mécanorécepteurs

Les mécanorécepteurs peuvent être trouvés sur l'ensemble du corps des insectes

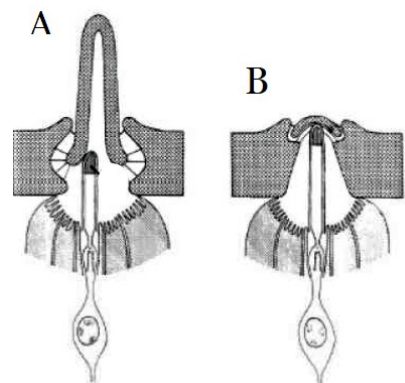
=> Récepteurs à la pression, à distance ou par contact :

- Toucher
- Vibration de l'air (son)
- Proprioception

On trouve 2 types de mécanorécepteurs chez les insectes :

- Les **sensilles chétiques** (A)
- Les **sensilles campaniformes** (B)

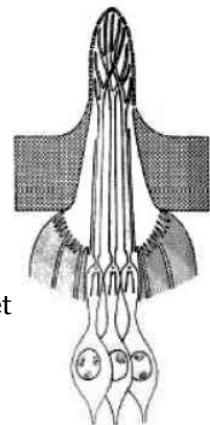
=> Les sensilles mécanoréceptrices ne présentent pas de pores et elles sont associées à un seul neurone (2 états : activée ou désactivée)



3. Chémorécepteurs

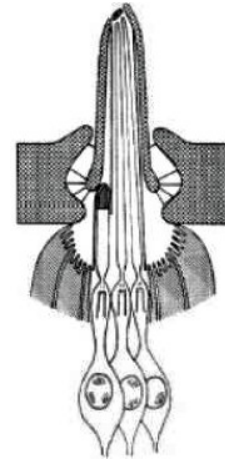
On trouve 2 types de chémorécepteurs chez les insectes :

- Chémorécepteurs à distance, relatifs à l'olfaction, les **sensilles olfactives**
 - En grand nombre sur les antennes.
 - Les sensilles olfactives présentent de multiples pores et sont associées à de multiples neurones.
 - Il existe une spécificité des récepteurs aux molécules.
=> Un grand nombre de récepteurs détecte spécifiquement une molécule et chacun de ces récepteurs est associé à des neurones spécifiques
 - Sensibilité à de très faibles concentrations de molécules diffuses dans l'air.



➤ Chémorécepteurs de contact, relatif au goût, les **sensilles gustatives**

- Sur les pièces buccales et les pattes.
- Les sensilles gustatives ne présentent qu'un seul pore, situé à l'extrémité apicale, et sont associées à de multiples neurones.
- Il y existe une spécificité récepteurs/molécules.
- Sensibilité à des concentration élevées de molécules en solution.



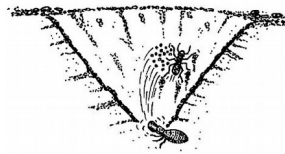
B) Les outils de capture

1. Pièges construits

Un certain nombre d'espèces construisent des pièges

=> Exemples :

- Entonnoir de la larve de fourmilion
- Nasses ou filets de larves de Trichoptère



2. Mimétisme

Le **mimétisme** consiste à ressembler à une autre espèce ou à un élément du paysage.

=> Cette ressemblance peut être biochimique, comportementale, morphologique ...

Il peut permettre 2 choses pour le prédateur insecte :

➤ **Passer inaperçu**

=> Exemples :

- **Homochromie** : Couleurs semblables à celle de l'environnement proche.



mante-religieuse



Hymenopus coronatus
mante-orchidée

- **Homotypie** : Ressemblance par la forme à un autre organisme (animal ou végétal) ou à un élément de l'environnement proche.

- **Déguisement** : Utilisation d'éléments du milieu pour se faire passer pour autre chose ou pour se dissimuler.



© Daniel Llavenerias
Chrysopa prasina Planipenne

➤ **Tromper l'hôte ou la proie**

=> Exemples :

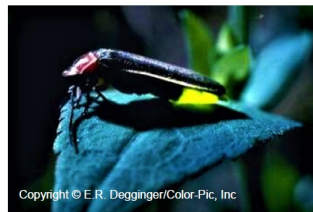
- **Copiage chimique et/ou comportemental**



Atemeles pubicollis, Staphylin dans une colonie de *Formica rufa*

Atemeles pubicollis émet des phéromones et se fait passer pour une fourmi en repliant son abdomen, afin d'être nourri et logé au sein de la fourmilière.

- **Photomimétisme**



Photuris pennsylvanicus
Lampyridae

3. Substances toxiques

Des substances toxiques peuvent être sécrétées par les insectes prédateurs afin d'affaiblir leur proie, de les immobiliser, etc ... Ces substances peuvent être stockées ou non dans des glandes particulières et sont appliquées de différentes façons selon les organismes.

=> Exemples :

➤ **Dard des hyménoptères**

=> *Pepsi grossa*, chasseuse de tarentules auxquelles elle assène un puissant coup de dard libérant ainsi une substance toxique qui les paralyse rapidement.

➤ **Salive toxique** : La présence de salive toxique se retrouve chez des phytophages et chez des zoophages.

=> Exemple : *Lepidosaphes beckii*, la cochenille virgule, dont la salive annule les défenses de la plante qu'elle consomme.

4. Pattes ravisseuses

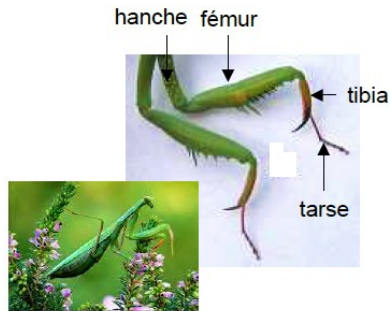
Les **pattes ravisseuses** constituent des **pattes modifiées spécialement dans le but d'attraper rapidement et de façon ferme les proies.**

=> On en distingue plusieurs types :

➤ Pattes ravisseuses de type **couteau pliant**

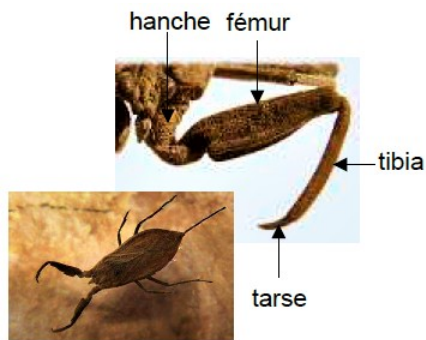
=> Différentes formes :

• Chez les Dictyoptères



Dictyoptère - mante religieuse

• Chez les Hétéroptères



Hétéroptère - nèpe

➤ Pattes ravisseuses de type **pince**

=> Rare

• Chez les Dryinidés

=> Il y a modification d'une épine tarsale et le tibia se replie sur le fémur, rendant ainsi possible la détente



Hyménoptère - Dryinidae

C) Les pièces buccales

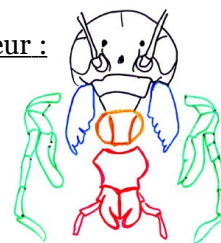
Au **sens strict**, les **pièces buccales** désignent les **appendices céphaliques transformés pour la nutrition** :

- Les **mandibules** (2)
- Les **maxilles** (2)
- Le **labium** (1), qui constitue la lèvre inférieure, et qui résulte de la fusion des maxilles secondes.

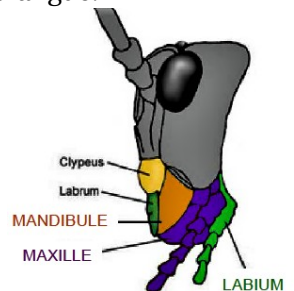
Mais au **sens large** elles incluent également :

- Le **labre** (parfois noté labrum, à ne pas confondre avec labium), une sclérite céphalique constituant la lèvre supérieure.
- L'**hypopharynx**, une évagination du plancher buccal constituant une sorte de la langue.

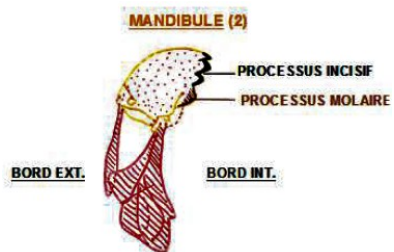
Le type fondamental de pièces buccales est le type broyeur :



Labre
Mandibules
Maxilles
Labium

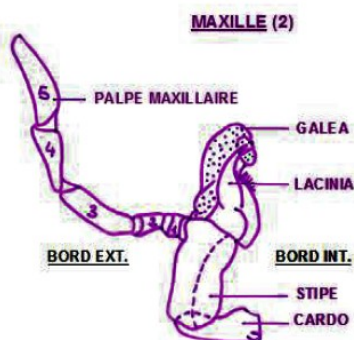


➤ **Mandibules** (2)



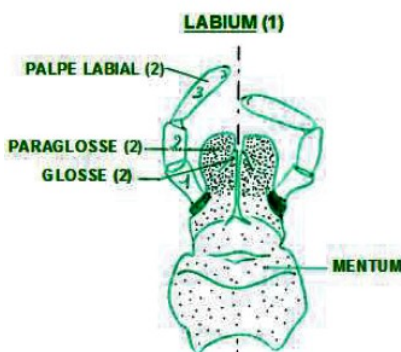
- Présence d'un **processus incisif** permettant le découpage et d'un **processus molaire** permettant le broyage, le tout rattaché à un puissant muscle.

➤ **Maxilles** (2)



- Situées **latéralement sur la tête de l'animal**.
=> Chaque maxille est constituée de :
 - 2 **pièces basales**, le **stipe** et le **cardo**
 - 2 **structures/ramées**, une interne la **lacinia**, une externe la **galea** (+ souple)
 - 1 **palpe maxillaire** très développé à 5 articles
=> **Rôle essentiellement sensoriel chimique** (goût et odorat)

➤ **Labium** (1)



- **Mentum** sur lequel sont soudés les **glosses et paraglosses**.
- Présence de **palpes labiaux**, à **rôle sensoriel**.

Au delà du type fondamental broyeur on **distingue différentes variantes liées à la nutrition liquide**, présentant des modifications (+) ou (-) conséquentes par rapport au type fondamental en fonction de la spécialisation (+) ou (-) importante du régime alimentaire.

=> C'est différentes variantes sont :

➤ Le type **broyeur-lécheur labial**

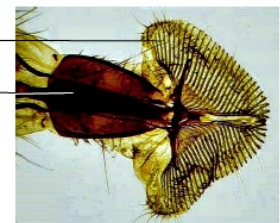
=> Transformation du labium, qui devient souple et spongieux permettant à l'animal de laper un liquide (du nectar la plupart du temps).

Broyeur-lécheur labial



guêpe

Suceur-lécheur labial



mouche

➤ Le type **suceur-lécheur labial**

=> Labium largement transformé, présentant une extrémité élargie en forme de ventouse avec des labelles spongieux pourvues de sillons permettant l'aspiration des liquides par capillarité jusqu'à un tube au niveau du labre.

➤ Le type **suceur-lécheur maxillaire**

=> Labium très réduit et présence d'une trompe, formée par les galéas (se trouvant sur les maxilles) fortement allongées et accolées (mais pas de fusion), permettant de lécher puis d'aspirer le nectar.

Suceur-lécheur maxillaire



papillon

Piqueur-suceur



taon

➤ Le type **piqueur-suceur**

=> Présence de 6 stylets perforants issus de la transformation de différentes pièces buccales, ils sont rigides et tous sont insérés en même temps lors de la piqûre. Le labium reste souple et il sert d'appui lors de la piqûre (il reste à l'extérieur lors de la piqûre).

➤ La **digestion extra-orale**

=> Cavité pré-orale fermée, mandibule transformées creuses, reliées à une glande à venin. L'insecte plante ses mandibules dans la proie et y insère un venin paralysant ainsi que des enzymes digestives permettant de liquéfier son contenu interne qu'il récupère ensuite en aspirant.

Digestion extra-orale



larve de dytique

III. Régimes alimentaires spécialisés

A) Les suceurs de sève

Les insectes suceurs de sève sont **essentiellement des Hémiptères** (Punaises, Pucerons et Cicadelles)

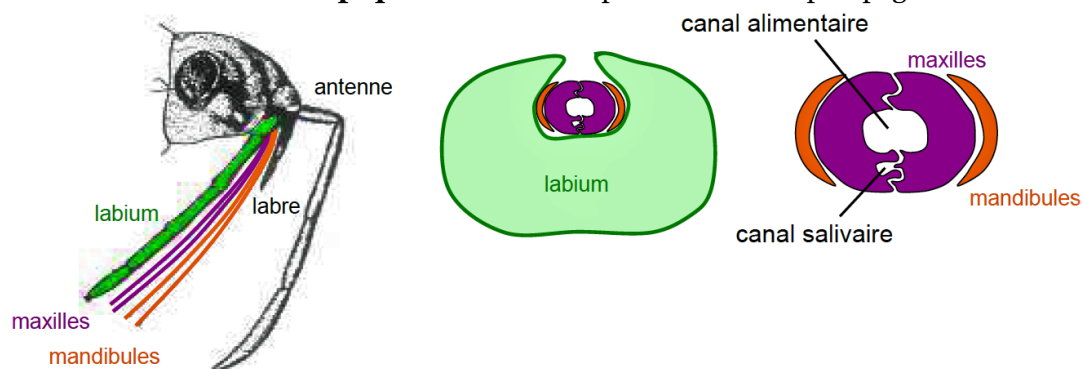
Caractéristiques relatives à la sève et éventuelles contraintes associées :

- Solution endiguée à l'intérieur de canaux
=> Elle n'est donc pas directement accessible
- Riche en eau et en sucres
- Pauvre en protéines.
=> L'animal a donc besoin d'en absorber de très grandes quantités mais doit alors trouver un moyen de se débarrasser de l'eau et des sucres simples en excès
- Présence de mécanismes de défense chez la plante pour protéger son système vasculaire des prédateurs suceurs.

Adaptations mises en œuvre pour répondre à ces contraintes :

➤ **Atteindre la source nutritive**

- Présence d'un **rostre piqueur** assurant la perforation et le pompage de la sève.

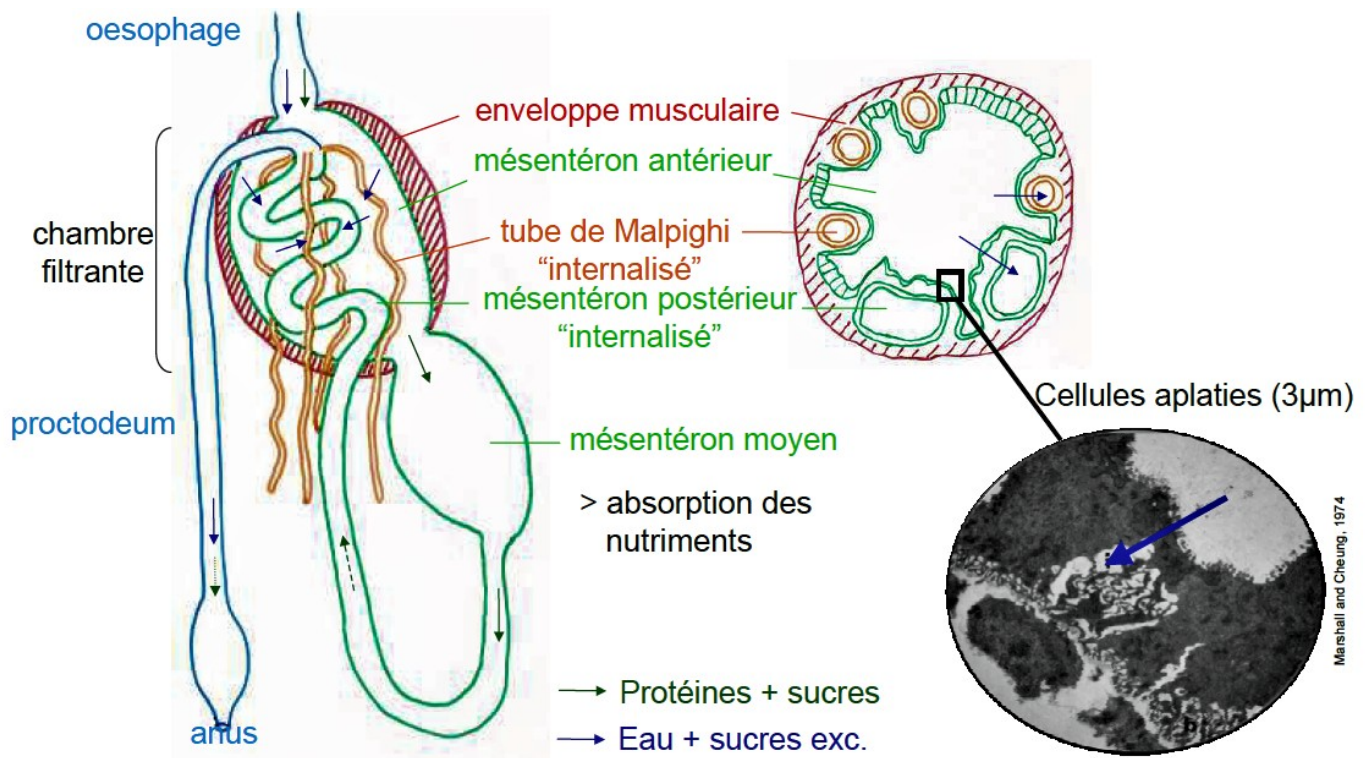


- Labre court
- Labium resté souple et n'étant pas inséré lors de la piqûre, permettant d'assurer un certain maintien/une certaine stabilité
- Seules maxilles et mandibules sont transformées en stylets perforant et sont insérées lors de la piqûre
- Les mandibules maintiennent les maxilles accolées
- Les maxilles définissent **2 canaux différents**, le canal alimentaire et le canal salivaire
- Lors de la piqûre il y a contorsion des stylets pour arriver jusqu'à la sève puis, une fois que c'est le cas, il y a **injection de salive, qui contient des protéines** permettant :

- => Une protection et un maintien des stylets
- => Une étanchéité des stylets
- => Une détoxification de la sève

➤ **Se débarrasser de l'excès d'eau et de sucres**

- Présence d'une **modification du tube digestif**.
=> Transformation du mésentéron et absence de jabot et de gésier



- Mise en place d'une **chambre filtrante** permettant de court-circuiter le canal alimentaire :

=> Mésentéron en 3 parties :

- Mésentéron antérieur, à parois fines, accolé au mésentéron postérieur et aux tubes de Malpighi
- Mésentéron moyen, courbé, « en i »
- Mésentéron postérieur internalisé, venant en contact avec le mésentéron antérieur

=> Le mésentéron antérieur, postérieur ainsi que les tubes de Malpighi sont enveloppés dans un tissu musculaire et l'ensemble constitue la **chambre filtrante**

- L'eau et les sucres en excès, passent par simple osmose, de l'intérieur du mésentéron antérieur, vers le mésentéron postérieur et les tubes de Malpighi

- Les sucres complexes et protéines, trop gros(es) pour passer par osmose, transitent vers le mésentéron moyen où ils/elles sont digérées de manière classique

- Comme l'eau est éliminée, il y a concentration (+) importante de sucres complexes et protéines dans le mésentéron moyen

- À l'issue de la digestion il y a **excrétion d'un miellat** (liquide visqueux riche en protéine et sucres), qui joue un rôle important dans l'interaction biotique que certains pucerons entretiennent avec des fourmis.

B) Les hématoiphages

Les insectes hématoiphages peuvent être :

➤ **Hématoiphages exclusifs**

=> Des **Anoploures** et des **Siphonaptères** (Poux et Puces)

ou

➤ **Hématoiphages non exclusifs**

=> Des **Diptères** et des **Hémiptères** (Mouches, Moustiques, Taons, Punaises)

- Les moustiques femelles prélèvent du sang pour la vitellogénèse
- Les punaise prélèvent du sang pour la mue

Caractéristiques relatives au sang et éventuelles contraintes associées :

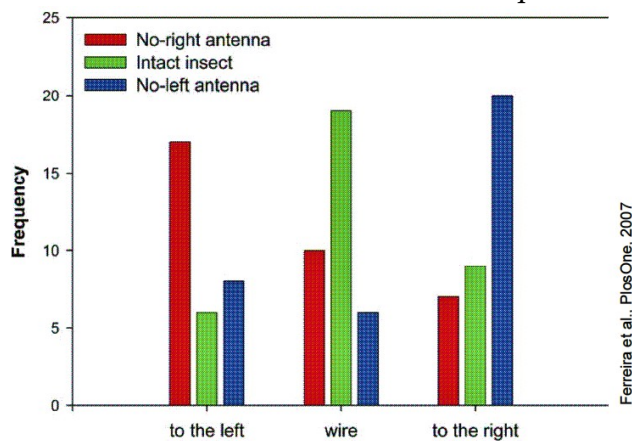
- Solution endiguée
=> Comme pour la sève, elle n'est pas directement accessible
- Riche en eau, en nutriments et en composés métalliques
- Présence d'une défense de l'hôte (coagulation, défenses physiques etc ...)

Adaptations mises en œuvre pour répondre à ces contraintes :

=> Il faut tout d'abord être capable de détecter la proie

➤ **Repérer la proie**

- **Perception visuelle directe**, liée à la forme de la proie et l'intensité lumineuse émise par celle-ci (+ ou – sombre).
- **Thermo-perception**.
=> Grâce aux antennes chez *Rhodnius prolixus*

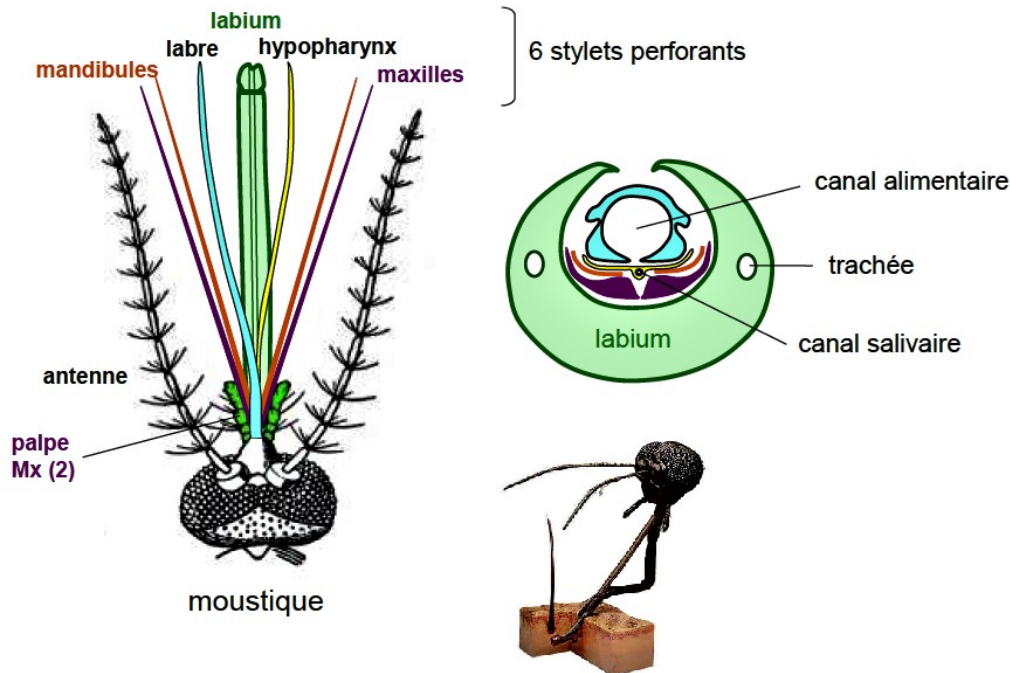


Rhodnius prolixus

- **Perception du CO₂ émis, de la vapeur d'eau émise, de la transpiration ...**

➤ Atteindre la source nutritive

- Présence d'un **rostre piqueur**, permettant la perforation et le pompage.
=> Les pièces buccales sont transformées pour former 6 stylets perforants



- Le labre forme un canal alimentaire
- L'hypopharynx forme un canal salivaire
- => Il y a émission de salive avant aspiration
- On distingue **2 types d'hématophages** :

Les **telmophages**

- => **Stylets larges**
- => **Absorption de sang mais également de lymphe** (lié à un déchirement causé par la largeur des stylets)
- => Cas observé chez le taon

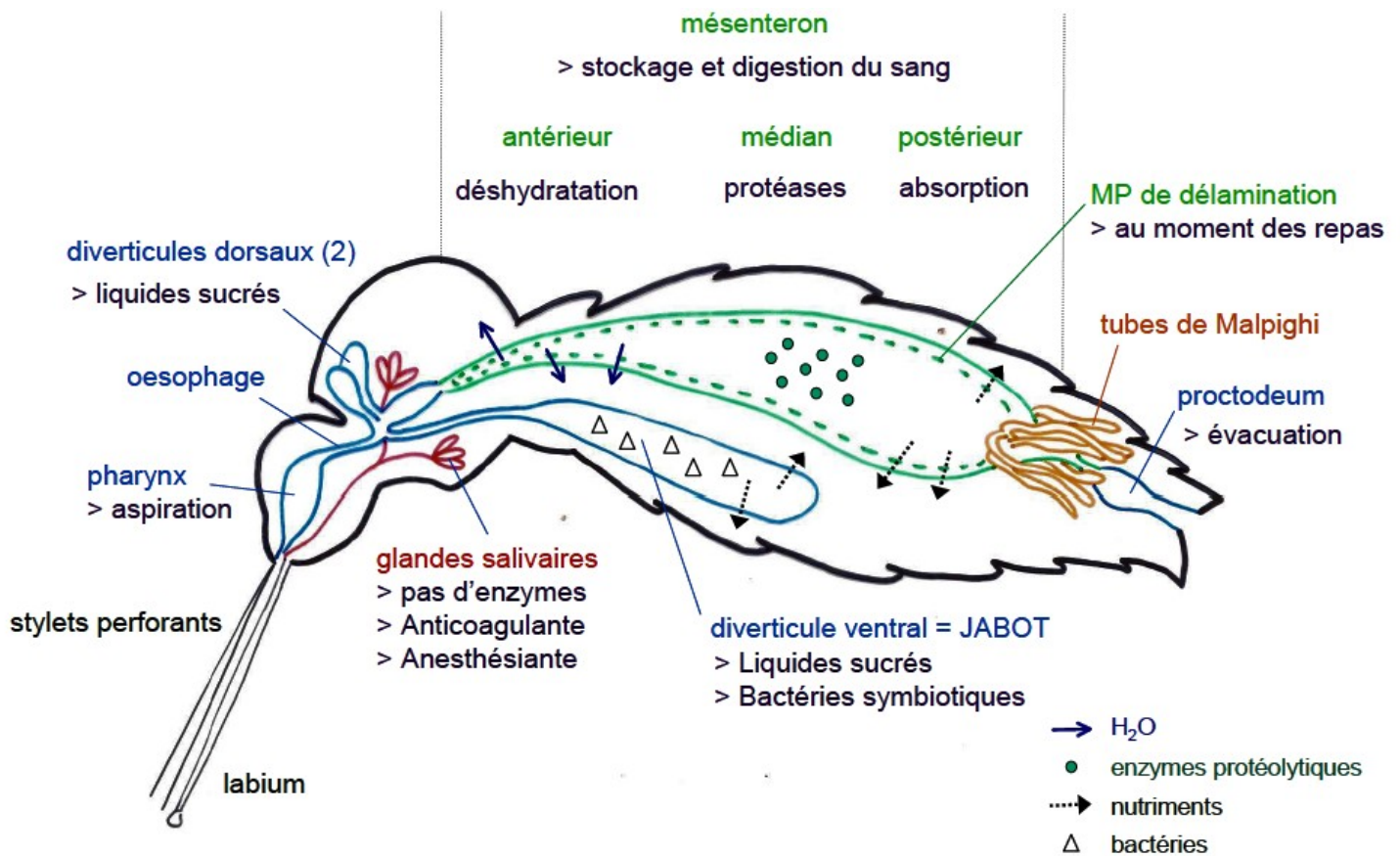
Les **solénophages**

- => **Stylets extrêmement fins**
- => **Pas d'épanchement lymphatique, seul le sang est absorbé**
- => Cas observé chez les moustiques et les punaises

- Les moustiques mâles sont dépourvus de mandibules

➤ Récupérer et digérer le sang

- Éviter de se faire repérer
=> **Présence de substances anesthésiantes dans la salive**
- Éviter la coagulation (qui a pour fonction de contrer l'épanchement sanguin)
=> **Présence de substances anticoagulantes dans la salive**
- Stocker un grand volume (besoin de récupérer beaucoup de sang pour déclencher la vitellogénèse chez le moustique femelle)
=> **Présence de diverticules de stockage au niveau du tube digestif**
- Digérer des composés particuliers, notamment l'hémoglobine
=> **Spécialisation des segments du mésentéron**



structure et fonction du TD d'un moustique

- Oesophage pourvu de **diverticules particuliers, servant au stockage du nectar** (pas du sang)
 - => 2 diverticules dorsaux et un grand diverticule ventral comparable à un jabot
 - => Présence de bactéries symbiotiques permettant la dégradation des sucres en nutriments qui sont absorbés directement dans ce jabot
 - => Cela permet d'avoir toujours le mésenteron de libre pour le prélèvement sang si une opportunité se présente. Et si le mésenteron est rempli de sang, cela permet tout de même de pouvoir consommer du nectar afin d'obtenir de l'énergie pour le vol par exemple.
- Le sang passe directement vers le mésenteron, qui est régionalisé :
 - Mésenteron antérieur**
 - => Absorption maximale d'eau/déshydratation très importante du sang, limitant ainsi le besoin en enzymes digestives
 - Mésenteron moyen/médian**
 - => Sécrétion d'enzymes de type protéases
 - Mésenteron postérieur**
 - => Absorption des acides aminés issues de la dégradation de l'hémoglobine par les cellules columnaires et transformation de ces acides aminés en lipides (également dans les cellules columnaires)
 - => Ces lipides sont ensuite envoyés vers les ovaires pour déclencher la vitellogénèse
- Présence d'une **membrane péritrophique de délamination** se mettant en place au moment du repas et étant ensuite éliminée par les fèces
 - => Présent **seulement chez les femelles**
- **Glandes salivaires ne sécrétant pas d'enzymes**

Rôle vectoriel du moustique lié à son mode d'alimentation

- Pendant un laps de temps restreint, un protozoaire/nématode/virus présent dans un moustique peut échapper à la membrane de délamination et se retrouver dans les glandes salivaires, entraînant sa transmission lors de la prochaine piqûre.

C) Les xylophages

Les insectes xylophages se nourrissent de bois mort ou vivant, ce sont **essentiellement des Isoptères, des Coléoptères et des Hyménoptères**.

Caractéristiques relatives au bois et éventuelles contraintes associées :

- Constitué de cellulose, d'hémicellulose, ainsi que de lignine et de tanins
- Pauvre en azote

Très peu d'insectes possèdent l'équipement enzymatique complet nécessaire à la dégradation du bois.

=> Le seul exemple connu est *Ergates faber*, un coléoptère

La plupart d'entre eux digèrent le bois via des associations symbiotiques avec des bactéries, des archées, des protozoaires et/ou des champignons.

Un certain nombre d'insectes xylophages sont ravageurs de cultures/forêts et d'habitations (cas des termites).

Ils ont un **rôle écologique essentiel, notamment dans le cycle du carbone et la fertilisation des sols**.

Cas des termites (Isoptères) :

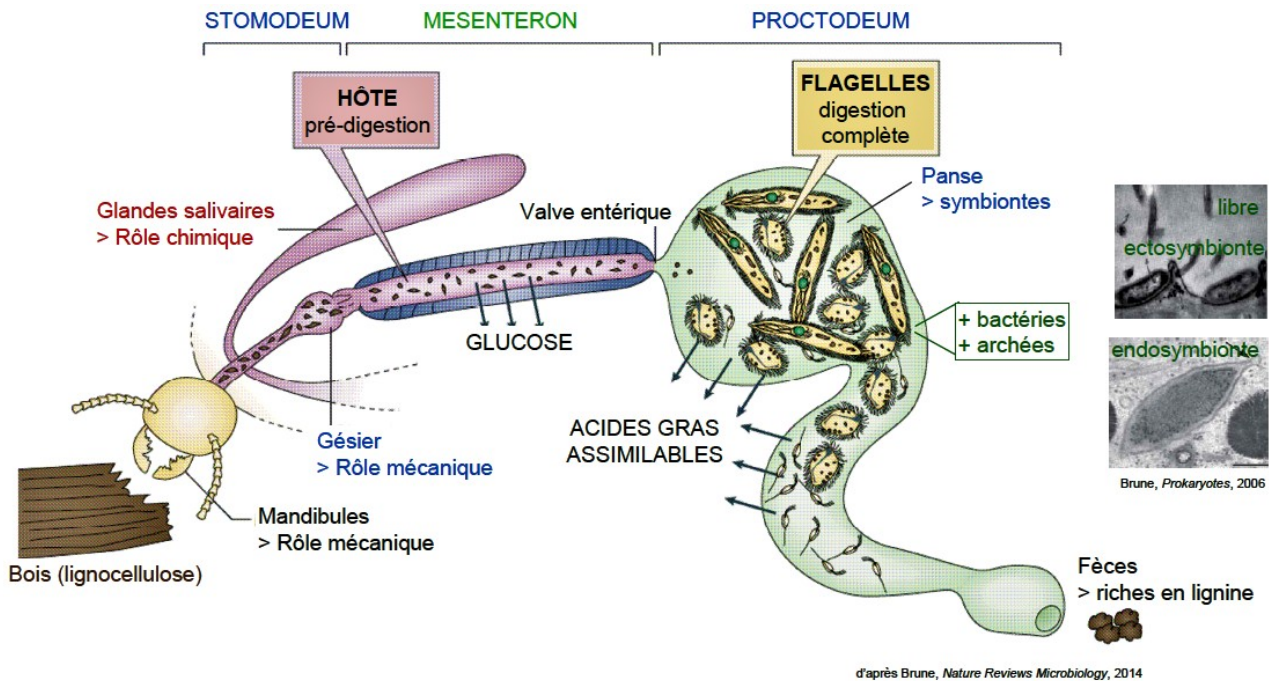
On compte (+) de 3000 espèces de termites.

=> Elles peuvent représenter jusqu'à **95 % de la biomasse des sols en zone tropicale et dans la savane africaine**

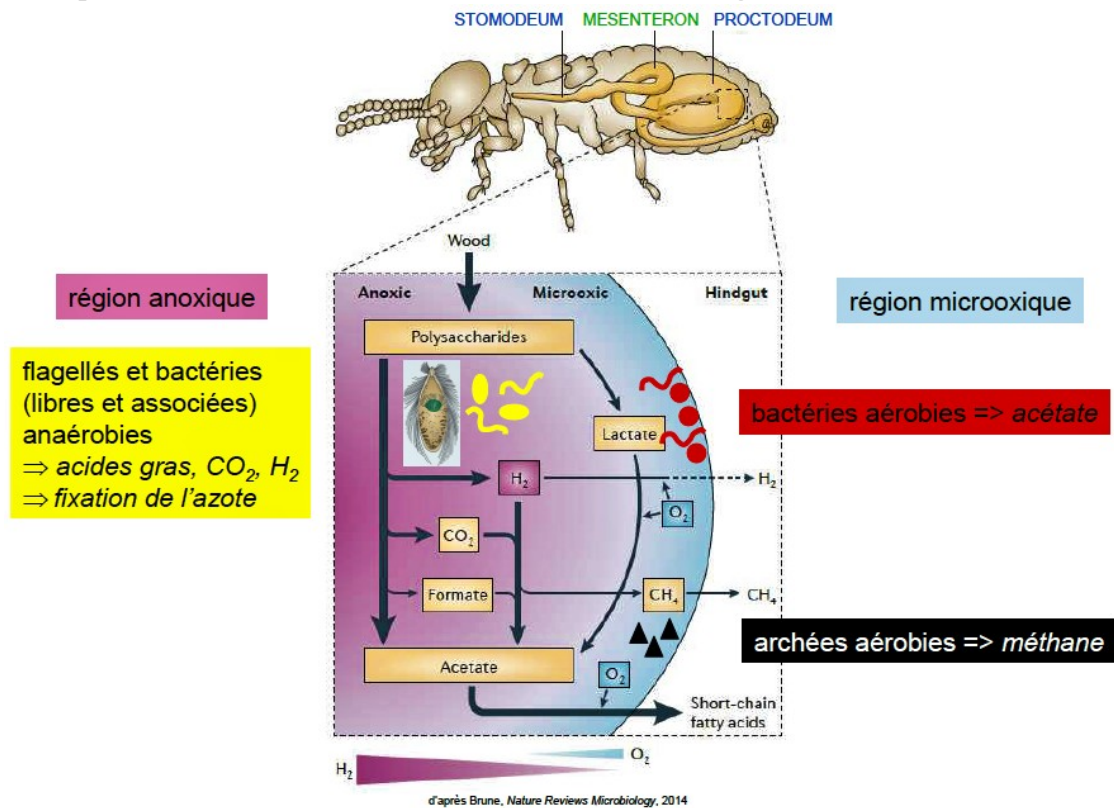
Chez les termites, c'est au niveau du proctodeum que l'on trouve les organismes symbiotiques effectuant la digestion du bois.

On trouve 2 types de termites :

- Les **termites inférieurs**
 - Ils présentent des bactéries, des archées et des **flagellés (symbiontes obligatoires)** au sein de leur tube digestif.
 - Ils possèdent un gésier très développé permettant de continuer le broyage des aliments.
 - Au niveau de mésentéron, il y a une **pré-digestion**, ne dépendant pas des symbiontes, permettant d'absorber du glucose.
 - Leur proctodeum héberge un certain nombre de symbiontes dont des flagellés (mais aussi des bactéries et archées, libres, ectosymbiontes ou endosymbiontes) permettant de dégrader le bois afin d'en obtenir des acides gras, qui sont ensuite absorbés localement.
 - Leur fèces sont riches en lignine



- Le proctodeum des termites inférieurs est divisé en 2 régions :



- Les **termites supérieurs**
=> Ce sont des termites chez qui il y a eu **disparition des flagellés** et mise en place de nouvelles adaptations évolutives pour digérer le bois.
- **Cas des termites champignonnistes**, qui **cultivent des champignons capables de dégrader les éléments constituant le bois**.
=> Les termites régurgitent le résultat de la pré-digestion sur les champignons pour finir la dégradation puis les consomment.
- Cas des termites xylophages et humivores tels que *Nasutitermes sp.* et *Cubitermes sp.* qui possèdent des bactéries capables de digérer le bois.

Conclusion générale

Coûts/inconvénients :

- Bilan humain et économique très lourd
=> Fort impacts des ravageurs et des vecteurs de maladies
- Utilisation de pesticides en réponse mais cela provoque un coût écologique important

Services/Bénéfices :

- Rôle essentiel dans les écosystèmes
=> Régulation des populations de ravageurs par leurs prédateurs, cycle de la matière (recyclage), pollinisation ...