

Chapitre I — Le Tégument

I.1. Définition et généralités

En biologie, le tégument désigne l'ensemble des structures qui forment l'enveloppe externe d'un organisme. Il délimite le corps de l'insecte, le séparant de son environnement, le protège des agents étrangers et assure en même temps une communication avec l'extérieur.

Chez les Arthropodes, la présence de ce tégument impose un mode de croissance particulier, lié à la perte de l'ancien tégument et à la formation d'un nouveau : ce phénomène est la mue (ou ecdyse).

Distinction importante

Chez les vertébrés, le tégument est constitué de plusieurs couches cellulaires (épiderme, derme). Chez les insectes, il comprend en plus une couche non cellulaire externe, la cuticule, qui forme le véritable exosquelette.

I.2. Structure du tégument

Le tégument des insectes est composé de trois couches principales :

1. L'épiderme — couche cellulaire vivante sous la cuticule
2. La cuticule — enveloppe non cellulaire rigide
3. La membrane basale — tissu conjonctif de soutien

I.2.1. L'épiderme

L'épiderme est une couche monocellulaire de cellules vivantes située juste sous la cuticule. Il est responsable de :

- La synthèse de la cuticule (chitine, protéines, cires, pigments)
- La régulation des échanges entre l'insecte et son environnement
- La production de substances comme les phéromones ou les cires
- Le contrôle du processus de mue

I.2.2. La cuticule

Définition

La cuticule est une couche non cellulaire, rigide et résistante, qui recouvre l'épiderme. Sa majeure partie est composée de fibres de chitine intégrées dans une matrice protéique. Elle est organisée en plusieurs sous-couches distinctes.

Composition chimique

- Chitine : polysaccharide de haut poids moléculaire contenant des groupes aminés, synthétisée dans l'épiderme à partir de sucres et d'amino-sucres.
- Protéines cuticulaires : renforcent la structure ; peuvent être sclérifiées (durcies).

- Cires : imperméabilisent la cuticule pour prévenir la déshydratation.
- Pigments : confèrent la coloration à l'insecte.

Structure en couches — de l'extérieur vers l'intérieur

Couche	Position	Propriétés principales
Épicuticule	La plus externe (~1 µm)	Très fine, imperméable, riche en lipides et cires
Exocuticule	Couche externe de procuticule	Dure, sclérifiée, résistante
Endocuticule	Couche interne de procuticule	Flexible, riche en chitine, non sclérifiée

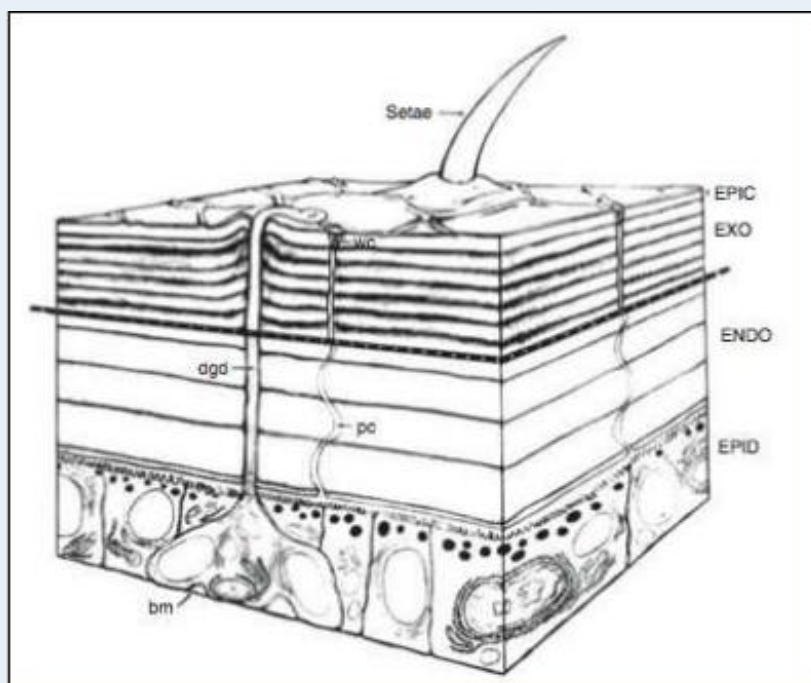


Figure I.1 — Coupe de la cuticule et de l'épiderme d'un insecte. Setae : poils cuticulaires ; Epic : épicuticule ; Exo : exocuticule ; Endo : endocuticule ; Epid : épiderme ; dgd : canal glande dermique ; bm : membrane basale. (Source : Hadley N., 1982)

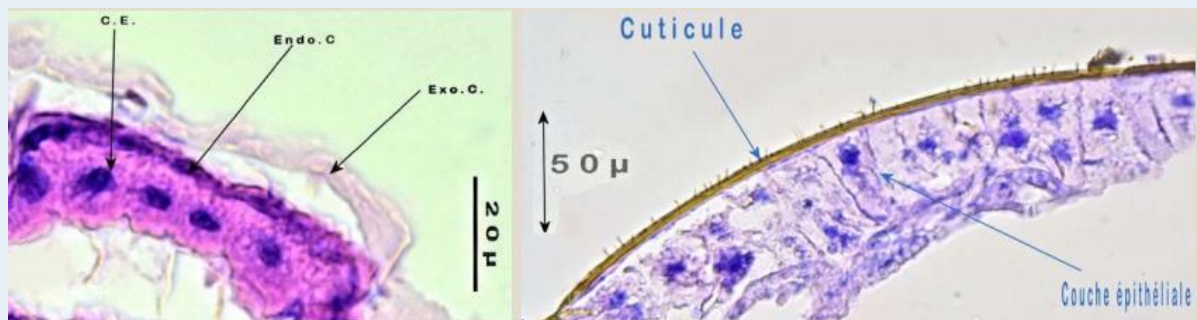


Figure I.2 — Structure du tégument de la larve de *Galleria mellonella* (microphotos J.P. Marino). Coupe de la cuticule de *Campodea* sp. et *Drosophila melanogaster*. (Exo.C : Exocuticule, Endo.C : Endocuticule, C.E : Couche épithéliale)

I.2.3. La membrane basale

Fine couche de tissu conjonctif située sous l'épiderme. Elle soutient l'épiderme et le relie aux tissus internes de l'insecte.

I.2.4. Les œnocytes et les canalicules cuticulaires

Les œnocytes sont des cellules d'origine ectodermique différenciées lors du développement embryonnaire. Selon les espèces, ils restent associés à l'épiderme ou s'en séparent (chez les Lépidoptères, Coléoptères et Diptères, ils forment des amas au voisinage des stigmates ; chez d'autres insectes, ils sont inclus dans le corps gras). Leur rôle principal est la synthèse des lipides et des cires cuticulaires.

Les canalicules cuticulaires traversent la cuticule et permettent l'excrétion des substances produites par les glandes dermiques. On distingue :

- Canalicules exuviaux : débouchent dans l'espace entre ancienne et nouvelle cuticule lors de la mue
- Canalicules cirifères : traversent l'épicuticule et mettent en place les structures cireuses
- Canalicules du ciment : assurent le dépôt de la couche de ciment
- Canalicules poraires : occupés par un axe cytoplasmique

Canalicules et insecticides

Les canalicules constituent des voies de pénétration pour les insecticides de contact, notamment pour les molécules lipophiles qui dissolvent les cires épicuticulaires. La compréhension de leur structure est essentielle pour optimiser les formulations phytosanitaires.

I.3. Principaux rôles de la cuticule

La cuticule remplit des fonctions multiples et essentielles :

1. Protection mécanique et barrière contre la déshydratation : elle constitue un

exosquelette et empêche la perte d'eau par évaporation grâce à la couche de cires.

2. Déterminisme de la forme et de la couleur : la sclérotisation, la pigmentation et les microstructures cuticulaires définissent l'aspect externe de l'insecte.
3. Communication chimique : les phéromones traversent la cuticule, et les organes sensoriels y sont ancrés.
4. Rôle nutritif lors de la mue : les composants de l'ancienne cuticule sont recyclés grâce au liquide exuvial.
5. Croissance discontinue par mues : la rigidité de la cuticule impose des cycles de mue pour permettre la croissance.

I.3.1. La sclérification

La sclérification est le processus de durcissement de la cuticule par formation de liaisons croisées entre les chaînes protéiques. Le produit de la sclérification, la sclérotine, est un plastique naturel d'aspect corné comparable à la kératine. Ce processus est initié par la bursicon (hormone libérée après la mue) et implique l'oxydation de la DOPA en dopamine puis en quinones réactives qui réticulent les protéines.

i Sclérification versus minéralisation

Chez certains insectes (ex. : coléoptères), la cuticule est également minéralisée par des sels de calcium. Chez d'autres (ex. : chenilles), la cuticule reste flexible (non sclérifiée), permettant de grandes extensions de l'abdomen (jusqu'à $\times 20$ lors de la ponte chez les criquets femelles).

I.4. La pigmentation du tégument

I.4.1. Origines de la couleur

Pigments chimiques : substances qui absorbent certaines longueurs d'onde de la lumière, conférant une couleur spécifique.

Couleurs structurales : résultent de l'interaction de la lumière avec les microstructures de la cuticule (irisations, reflets métalliques).

I.4.2. Principaux types de pigments

Pigment	Couleurs produites	Origine
Mélanine	Noir, brun, rouge, jaune	Synthèse endogène (voie de la tyrosine)
Ommochromes	Brun, jaune, rouge, violet	Dérivés du tryptophane
Caroténoïdes	Jaune, rouge	Alimentation (végétaux)
Ptérines	Blanc, rouge, jaune, vert	Synthèse endogène

I.4.3. Facteurs influençant la pigmentation

- Facteurs internes : âge, maturité sexuelle, densité de population (insectes grégaires)
- Facteurs externes : température, humidité, photopériode, couleur de l'environnement

✓ *Locusta migratoria* — Variation de pigmentation

Les individus sont généralement verts pendant la saison des pluies (camouflage parmi la végétation) et bruns pendant la saison sèche. Chez le criquet pèlerin *Schistocerca gregaria*, la phase grégaire est caractérisée par une pigmentation noire et jaune très contrastée, régulée par l'hormone juvénile.

I.5. La mue (Ecdyse)

I.5.1. Définition

La mue est le processus de production d'une nouvelle cuticule et de l'élimination de l'ancienne. Elle permet à l'insecte de grandir en taille, d'acquérir de nouveaux organes ou de changer de morphologie (métamorphose). L'ancienne cuticule éliminée est appelée l'exuvie.

I.5.2. Étapes du processus de mue

1. Activation et prolifération cellulaire : division des cellules de l'épiderme par mitose.
2. Apolyse : séparation des cellules épidermiques de l'endocuticule ; formation d'un espace sous-cuticulaire.
3. Sécrétion du liquide exuvial : gel d'enzymes digestives (chitinases, protéases) qui favorise la synthèse de la nouvelle cuticule et digère l'ancienne endocuticule.
4. Recyclage des composants cuticulaires : absorption des produits de digestion par les cellules épidermiques.
5. Formation de la procuticule : la nouvelle cuticule (exo- + endocuticule) se forme progressivement.
6. Formation des lignes ecdysiales : lignes en Y sur la tête et le thorax (zones de moindre résistance).
7. Augmentation de la pression interne : absorption d'air et/ou d'eau, pompage de l'hémolymphe.
8. Libération de l'exuvie : mouvements musculaires stéréotypés permettant à l'insecte de sortir de l'ancienne cuticule.
9. Sclérotisation de la nouvelle cuticule : durcissement par tannage des protéines et formation des liaisons chitine/protéines.

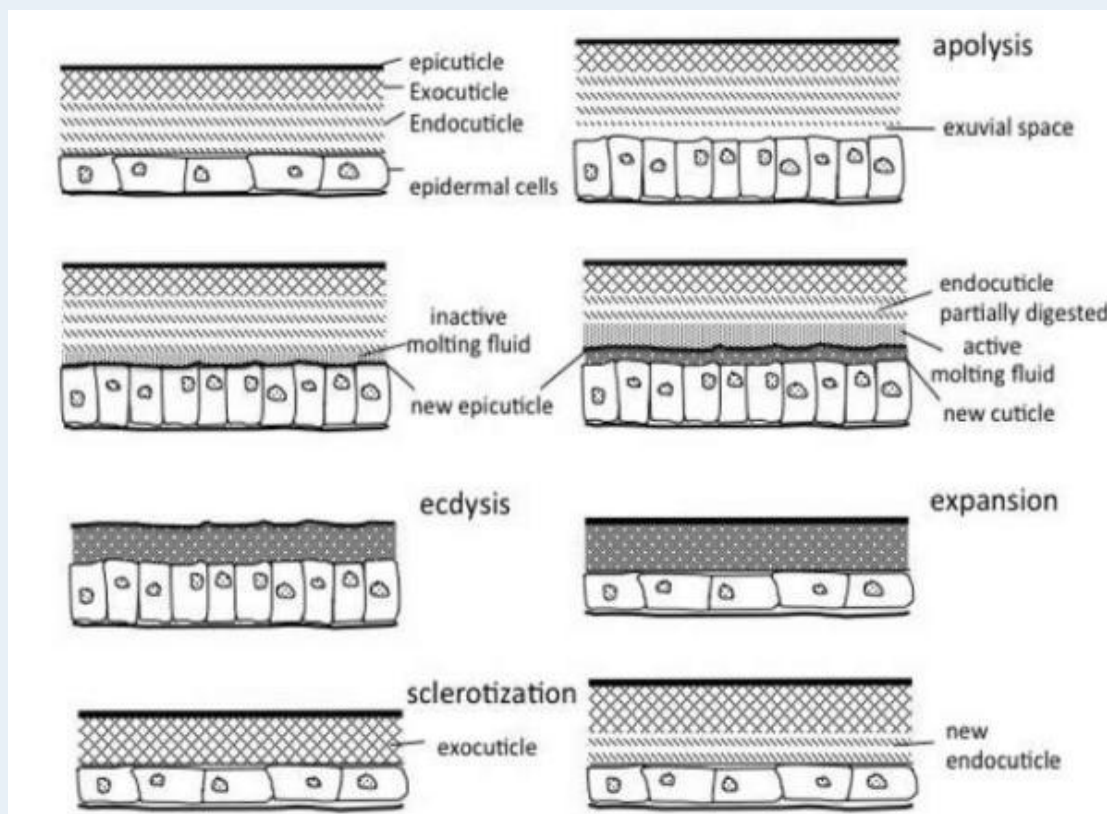


Figure I.3 — Différentes phases du processus de mue au niveau de la cuticule

Vulnérabilité pendant la mue

La période de mue est critique pour l'insecte : immobile et à tégument mou, il est très vulnérable à la prédation et aux insecticides de contact. Cette fenêtre de quelques minutes à plusieurs heures peut être exploitée en protection des végétaux pour optimiser l'efficacité des traitements.

I.6. Pénétration des insecticides et des agents entomopathogènes à travers le tégument

I.6.1. Pénétration des insecticides

La cuticule constitue la principale barrière à la pénétration des insecticides. Plus la larve est âgée et sa cuticule épaisse et sclérifiée, plus elle est résistante aux insecticides.

La pénétration suit deux phases :

- Phase rapide : saturation des couches cuticulaires (épicuticule lipidique)
- Phase lente : migration latérale vers les sites d'action via le système trachéen

Les insecticides peuvent agir en desséchant ou en abrasant la cuticule (ex. : poudres de silice, diatomées), facilitant l'entrée d'autres substances toxiques. La polarité de la molécule influence fortement sa capacité de pénétration.

I.6.2. Infection par les champignons entomopathogènes

Les champignons entomopathogènes (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium* spp.) infectent les insectes en traversant directement leur cuticule, sans nécessiter d'ingestion. Ils ciblent préférentiellement les zones peu sclérifiées (appendices buccaux, anus, zones intersegmentaires).

Étapes de l'infection

1. Adhésion : les conidies se fixent à la surface cuticulaire grâce à des protéines hydrophobes (hydrophobines) et des adhésines.
2. Germination : formation d'un appressorium, structure d'adhérence spécialisée.
3. Pénétration : sécrétion d'enzymes (protéases, chitinases, lipases) qui dégradent les couches cuticulaires.
4. Colonisation : envahissement de l'hémocœle sous forme de blastospores ; production de toxines (ex. : beauvericine).
5. Sporulation : après la mort de l'hôte, le champignon émerge, momifie l'insecte et produit de nouvelles conidies.

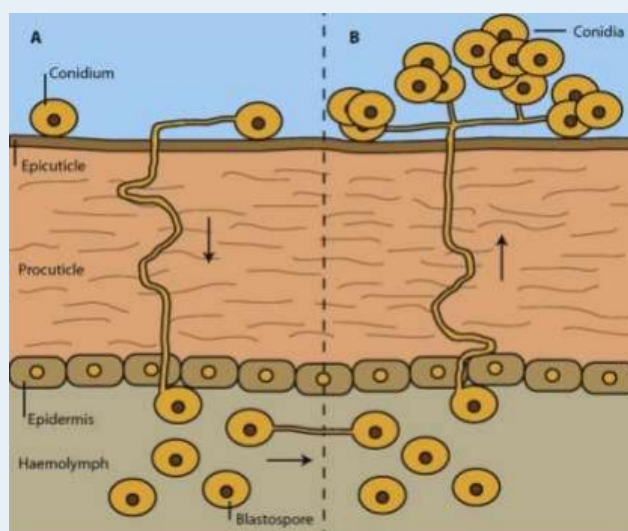


Figure I.4 — Cycle infectieux de *Beauveria bassiana* chez l'insecte (Valero-Jiménez et al., 2016).

i Application en lutte biologique

Ces champignons entomopathogènes sont utilisés comme biopesticides en agriculture biologique. Leur efficacité dépend de l'humidité relative (> 90 %), de la température (20–28 °C) et de la composition de la cuticule de l'hôte. Ils sont particulièrement intéressants pour la lutte contre les ravageurs résistants aux insecticides chimiques.