

Chapitre II — La Respiration chez les Insectes

II.1. Introduction

Contrairement aux vertébrés, les insectes n'ont pas de vaisseaux sanguins pour transporter l'oxygène vers les organes. Ils possèdent un réseau de fins tubes, appelés trachées et trachéoles, qui relie directement les cellules à l'extérieur via des orifices latéraux appelés stigmates.

Il existe typiquement 9 paires de stigmates : 2 paires thoraciques et 7 paires abdominales, complétées par des sacs aériens chez certaines espèces.

Originalité du système respiratoire des insectes

Contrairement au système circulatoire des mammifères où le sang transporte l'O₂, chez les insectes l'oxygène est acheminé directement aux cellules par les trachées. Le sang des insectes (hémolymphe) ne joue donc qu'un rôle mineur dans le transport des gaz respiratoires ; il est principalement dédié au transport des nutriments.

II.2. Structure du système trachéen

II.2.1. Les stigmates (spiracles)

Les stigmates sont les ouvertures externes du système trachéen. Chez les Aptérygotes primitifs, ce sont de simples orifices sans dispositif de fermeture, responsables de pertes hydriques importantes. Chez la plupart des insectes évolués, ils débouchent dans une cavité (atrium) dont les parois portent des poils filtrants (trichomes) qui empêchent l'entrée de poussières et d'eau. Un appareil de fermeture musculaire permet de réguler l'ouverture.

i Résistance aux insecticides liée aux stigmates

Certains ravageurs développent une résistance en modifiant la structure de leurs stigmates pour limiter l'entrée des insecticides gazeux, ou en métabolisant rapidement les molécules actives. La connaissance de ces mécanismes est utile pour développer des stratégies d'application ciblées.

II.2.2. Les trachées

Les trachées sont des tubes creux renforcés par des anneaux cuticulaires spiralés appelés taenidies. Ces épaisissements maintiennent la lumière ouverte tout en permettant une certaine flexibilité. Le diamètre des trachées diminue progressivement des stigmates vers la périphérie. Chez certains insectes, des dilatations forment des sacs aériens.

II.2.3. Les trachéoles

Les trachéoles sont les ramifications terminales du système trachéen (diamètre < 1

μm). Elles sont en contact direct avec les cellules — et même parfois intracellulaires — et constituent le site des échanges gazeux effectifs. Leur extrémité contient un liquide aqueux (hémolymphe) où se réalise la présolubilisation des gaz. En période d'activité métabolique intense, ce liquide est résorbé, augmentant la surface d'échange. Chaque groupe de trachéoles est associé à une cellule trachéolaire étoilée.

II.2.4. Les sacs aériens

Les sacs aériens sont des dilatations du réseau trachéen, dépourvues de taenidies (ou à taenidies réduites), ce qui leur permet de se comprimer facilement. Leurs fonctions sont multiples :

- Réduction de la densité corporelle (facilitant le vol)
- Augmentation de la ventilation active (advection)
- Déplacement de l'hémolymphe dans le corps

Advection vs diffusion

La diffusion passive (mouvement des molécules d'une zone concentrée vers une zone moins concentrée) suffit chez les petits insectes. L'advection est un mécanisme actif où l'air est poussé ou aspiré dans les trachées par compression des sacs aériens ; elle est indispensable chez les grands insectes ou lors du vol à haute performance métabolique.

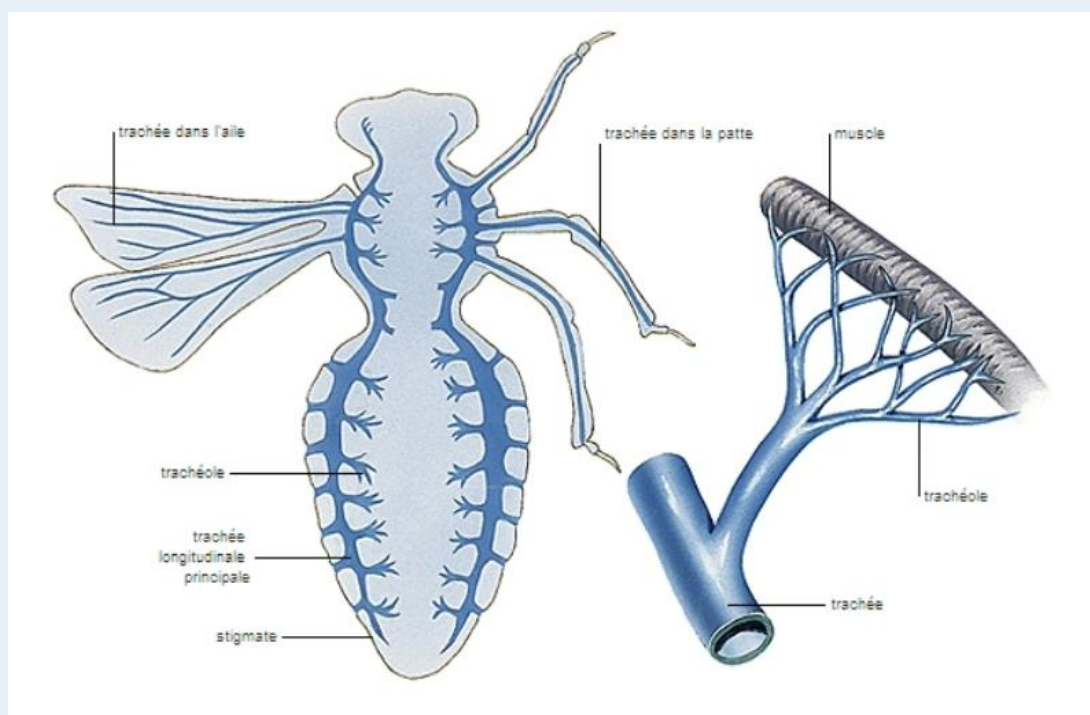


Figure II.1 — Schéma général du système trachéen d'un insecte. Stigmates, trachées, trachéoles et sacs aériens. Source:

(https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Syst%C3%A8me_respiratoire_des_insectes/1010135)

II.3. Fonctionnement de la ventilation

II.3.1. Diffusion passive

L'O₂ entre par les stigmates, traverse les trachées et atteint les trachéoles où il diffuse dans les cellules. Le CO₂ produit suit le chemin inverse. Ce mécanisme est suffisant chez les insectes de petite taille au repos.

II.3.2. Ventilation active

Chez les insectes à besoins métaboliques élevés (abeilles, sauterelles), des contractions musculaires rythmiques de l'abdomen pompent l'air activement.

Expiration (active) : la contraction des muscles abdominaux internes augmente la pression interne et expulse l'air vicié par les stigmates postérieurs.

Inspiration (passive) : lors du relâchement musculaire, l'élasticité de la chitine fait reprendre sa forme à l'abdomen, créant une dépression qui aspire l'air frais par les stigmates antérieurs.

✓ Ventilation chez le criquet *Schistocerca* sp.

Inspiration (passive, ~0,25 s) : par les 4 premières paires de stigmates (thoraciques et abdominaux 1-2).

Expiration (active, ~1 s) : contraction des muscles abdominaux — expulsion par les stigmates abdominaux 3 à 8.

Ce système en flux unidirectionnel garantit un renouvellement efficace de l'air, essentiel lors de vols prolongés.

II.4. Régulation du système trachéen

II.4.1. Régulation par le CO₂

La concentration de CO₂ dans l'hémolymphe est le signal clé. Une augmentation de CO₂ (activité physique intense) provoque l'ouverture des stigmates ; une faible concentration les ferme partiellement pour conserver l'eau.

II.4.2. Régulation hormonale

L'octopamine (hormone de stress) stimule l'ouverture des stigmates. L'ecdysone, lors des mues, influence le développement des trachées et trachéoles.

II.4.3. Adaptation aux conditions environnementales

Milieux secs : stigmates à dispositif de fermeture complexe ; réduction du métabolisme pour limiter les besoins en O₂.

Milieux aquatiques : branchies trachéales, bulles d'air, plastrons, siphons (voir section II.5).

II.5. Respiration chez les insectes aquatiques et les endoparasites

Environ 3 % des espèces d'insectes ont secondairement colonisé le milieu aquatique tout en conservant un système trachéen. Deux grandes stratégies existent :

II.5.1. Utilisation de l'oxygène atmosphérique

- Bulles d'air : l'insecte emporte une réserve d'O₂ sous l'élytres ou sous le tégument (ex. : Dytique, Dystiscidés). L'adulte se place en position oblique ventre en bas pour capter l'air en surface.
- Plastrons : lame d'air maintenue par des poils hydrofuges — fonctionne comme un poumon physique.
- Siphons : chez les larves de moustiques (Culicidés), tube respiratoire permettant de puiser l'air en surface tout en restant immergé.

II.5.2. Utilisation de l'oxygène dissous

- Respiration tégumentaire : échanges gazeux directs à travers un tégument très fin ; souvent le seul mode chez les très petites larves.
- Trachéobranchies : excroissances tégumentaires vascularisées reliées au système trachéen (larves d'Éphéméroptères, Pléoptères, Trichoptères).
- Branchies rectales : chez les larves de libellules Anisoptères, la chambre branchiale rectale est irriguée en eau par pompage actif.
- Branchies sanguines : extensions tégumentaires sans trachéoles ; relie l'O₂ dissous directement à l'hémolymphe.

II.5.3. Pigments respiratoires

Rares chez les insectes, les pigments respiratoires permettent la survie en milieux pauvres en O₂. Les larves de Chironomidés (vers de vase) synthétisent de l'hémoglobine dès le 2^e stade, leur donnant une couleur rouge vif. Cette hémoglobine à forte affinité pour l'O₂ leur permet de coloniser les sédiments anoxiques riches en matière organique.

i Avantages et limites du système trachéen

Avantages : acheminement direct de l'O₂ aux cellules (très efficace pour les petits organismes) ; indépendance vis-à-vis du système circulatoire.

Limites : taille corporelle maximale limitée (dépendance à la diffusion) ; risque de déshydratation par les stigmates ; absence de pompe efficace comparable au diaphragme des vertébrés.