

Schéma de la dissection de la Blatte orientale (*Blatta orientalis*, Dictyoptère Blattidé) femelle. C.G. : ganglions cérébraux ; S. Gl. : glandes salivaires ; Gz. : gésier ; Cr. : jabot ; Py. C. : caecums gastriques ; M. tb. : tubes de Malpighi ; Sp. : spermathèque ; Ov. : ovarioles ; Ovd. : oviducte ; Cl. Gl. : glandes collatérales ; R. : rectum.

Par Pierre-Olivier Maquart

Les tubes de Malpighi

Assurant l'osmorégulation et l'excrétion des déchets chez les insectes, les tubes de Malpighi sont des organes originaux qui jouent un rôle comparable à celui des reins des vertébrés. Leur fonctionnement particulier est décrit ici dans ses grandes lignes ; quant à leur disposition et leur forme, elles montrent une grande diversité. Ils produisent l'urine et, chez certains groupes ou espèces, bien d'autres choses.

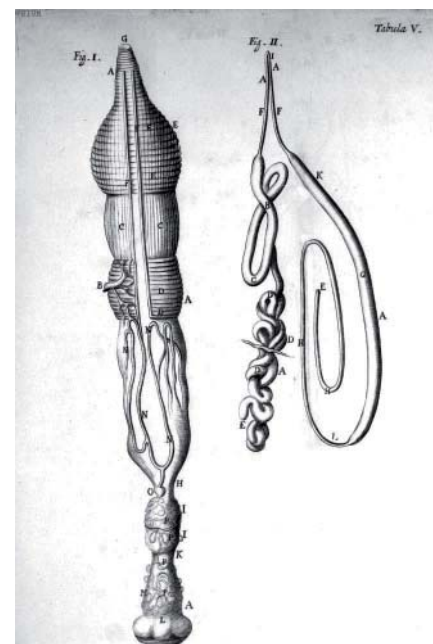
Tous les animaux doivent maintenir stable leur milieu intérieur ; le système excréteur participe à cette fonction vitale, son rôle est d'éliminer les déchets azotés très toxiques du métabolisme des protéines. Chez les insectes, il participe aussi à l'osmorégulation : le maintien de l'équilibre ionique de l'hémolymphe, liquide nutritif et véhicule de l'immunité qui baigne tous les organes, dépourvu de rôle respiratoire.

Il n'y a, chez les insectes, aucun organe fonctionnant comme une pompe et permettant d'augmenter la pression de l'hémolymphe : il ne peut donc y avoir d'ultrafiltration comme dans les glomérules du rein chez les vertébrés, où le sang, grâce à une forte pression, est filtré à travers des tissus qui vont peu à peu récupérer les déchets toxiques.

Chez les insectes, les tubes de Malpighi régulent la quantité

d'eau et d'ions présents dans le corps (osmorégulation) et assurent l'excrétion des déchets. Les organismes aquatiques (comme les poissons) les évacuent sous forme d'ammoniaque qui est très soluble dans l'eau, et qui demande une énergie quasi-nulle à la production de la molécule mais qui requiert une énorme quantité d'eau pour être évacuée. Les mammifères excrètent l'excédant d'azote sous forme d'urée qui est moins consommatrice d'eau mais plus coûteuse en énergie, cette molécule est diluée dans de l'eau et forme l'urine.

Les tubes de Malpighi sont des expansions filiformes du canal alimentaire débouchant à proximité de la valvule pylorique (entre le mésenteron et le proctodéum) et aveugles à l'autre extrémité. Découverts par Marcello Malpighi en 1669, ils seront ainsi nommés par Meckel en 1829. Ils sont constitués d'un épithélium fait de 4 à 6 couches de cellules à bordure en brosse, et de muscles. Ils baignent au moins en partie dans l'hémolymphe et leur portion libre montre des mouvements vermiculaires.



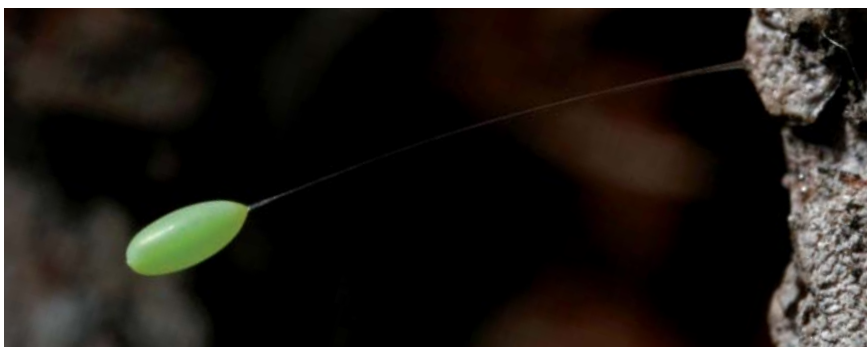
Dessiné par Malpighi : l'appareil digestif du ver à soie. Publié dans *Dissertatio epistolica de bombyce* (1669).

Les tubes de Malpighi (TM) sont présents chez tous les insectes (sauf chez les pucerons et les Strepsiptères) à tous les stades. Leur anatomie est très disparate et leur nombre varie de 2 paires (Thysanoures, cochenilles) à 300 (Criquet migrateur adulte). Ils peuvent être homogènes ou présenter des adaptations particulières.

Chez les chenilles et certains Coléoptères, ainsi que les Hyménoptères Symphytes et les Neuroptères Myrmélonidés leur partie distale rejoint le rectum et s'anastomose avec sa paroi. Les tubes sont enfermés dans une membrane enveloppante délimitant une cavité périnéphritique remplie de liquide. Ainsi l'eau prélevée dans le rectum est directement déversée dans les TM, formant un circuit fermé de récupération interne. Ce dispositif est appelé crytonéphridie.

Les TM produisent principalement l'urine. Émise par l'anus, celle-ci peut être liquide, sirupeuse ou pulvérulente. Mais leur rôle peut être autre. Ils fournissent le matériau de l'abri – spumeux (crachat de coucou) ou calcaire – des larves des cercopes (Hém. Cercopidés), de quoi mouiller la terre de la galerie chez certaines cigales (Hém. Cicadidés). Ils peuvent aussi produire le mucus et la lumière du piège des *Arachnocampa* (Dip. Kéroplatidés), au plafond des grottes de Nouvelle Zélande. Ils fabriquent la soie du cocon de nymphose chez des Thysanoptères, des Coléoptères et des Neuroptères, celle du pédoncule de l'œuf et un adhésif chez les larves de ces derniers, un adhésif également chez certaines chrysomèles (Col.), la soie du feutrage des galeries d'un Éphéméroptère... Ainsi que le calcaire de l'opercule de la logette de nymphose de larves de longicornes (Col. Cérambycidés), les cristaux jaunes du cocon du Bombyx à livrée (*Malocosoma neustria*, Lép. Lasiocampidé), etc.

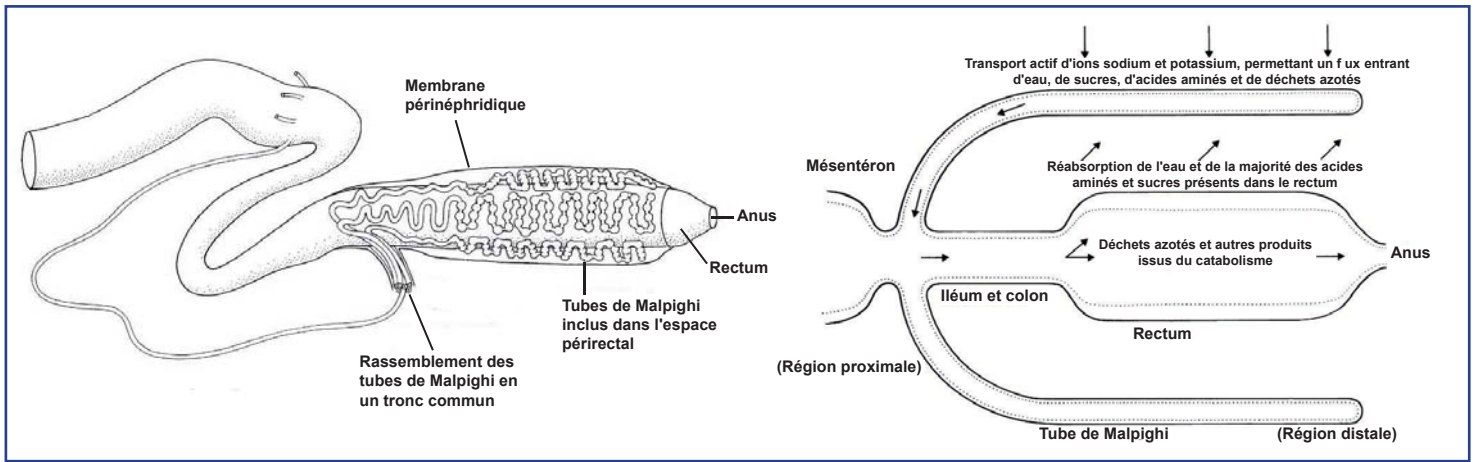
D'autres organes peuvent également participer à l'excrétion, outre les néphrocytes présents à proximité du vaisseau dorsal. Chez la blatte toute sa vie, chez l'abeille au stade larvaire, les tubes de Malpighi ne contiennent pas d'acide urique ; le corps gras accumule des cellules à urate. Les Thysanoures possèdent des « reins labiaux », glandes tubulaires céphaliques débouchant à la base du labium. Chez de nombreuses espèces, le mésentéron joue un rôle important comparable à celui des tubes de Malpighi, ainsi que le proctodéum (élaboration des fécès).



Les insectes excrètent majoritairement leurs déchets azotés sous forme d'acide urique qui cristallise dans le rectum et qui est très peu soluble. L'avantage principal est l'énorme économie en eau, cependant, sa production demande énormément d'énergie.

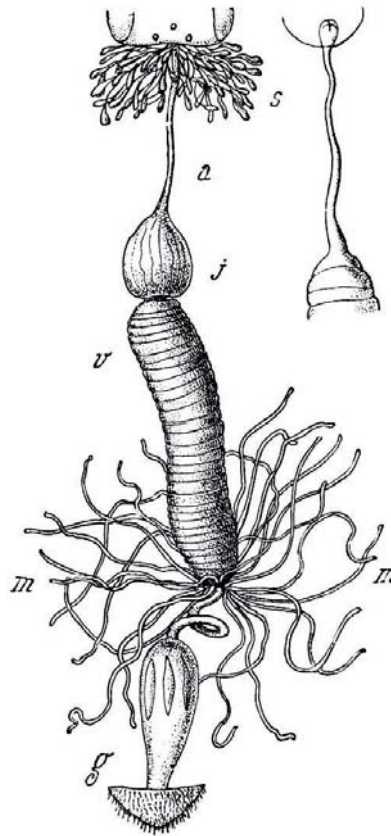
Dans l'extrémité des tubes (la partie distale) des pompes ioniques actives assurent le transport d'ions à travers la paroi, d'une zone externe où ils sont peu concentrés vers une zone interne où ils sont très concentrés, en utilisant de l'énergie. Dans le cas présent, ces pompes font passer de fortes quantités d'ions potassium (K⁺) et d'ions sodium (Na⁺) à l'intérieur du tube. Cela permet d'augmenter la pression osmotique qui va engendrer un mouvement d'eau de l'extérieur vers l'intérieur du tube (l'eau se dirige toujours du milieu le moins concentré vers le plus concentré) emportant avec lui les déchets métaboliques (dont des ions ammonium qui – suffisamment petits – peuvent passer librement à travers la paroi cellulaire). Le contenu des tubes forme l'urine primaire, qui est souvent isotonique par rapport à l'hémolymphe, mais de composition ionique différente : la concentration en ions sodium y est 6 fois plus importante et peut être jusqu'à 30 fois plus élevée chez les insectes aquatiques. À la sortie de ces tubes – dans l'iléon donc – il y aura une réabsorption des divers éléments, et surtout de l'eau. Le liquide devenant ainsi de plus en plus concentré est appelé urine secondaire. Le phénomène de réabsorption se déroule dans le rectum, au

Ci-contre et de haut en bas, trois exemples de production des tubes de Malpighi (voir encadré). Crachat de coucou - Cliché Entomart à entomart.be ; pédoncule de l'œuf des Chrysopidés - Cliché Joseph Berger, licence CC attribution 3.0, Bugwood.org ; mucus des filaments d'*Arachnocampa luminoza* - Cliché Mnoff licence CC ShareAlike 2.0



Ci-dessus, crytonéphridisme. À droite, fonctionnement des tubes de Malpighi.

niveau des papilles rectales. La composition de l'urine secondaire rejetée par les insectes est très différente de celle de l'urine primaire : chez *Carausius sp.* (*Phasmatodea*, Diapheromériidé), la concentration osmotique du liquide rectal est 2 à 3 fois plus élevée que l'urine primaire dans les tubes de Malpighi, la majeure partie de l'eau étant reprise ; de même 80% du potassium et 95% du sodium sont réabsorbés au niveau du rectum. La composition et la consistance de l'urine secondaire dépendent énormément du milieu dans lequel vit l'insecte et de la quantité d'eau absorbée dans ses aliments. Ainsi pour *Rhodnius sp.* (Hét. Réduviidé), immédiatement après la prise de sang, il y aura production d'une urine liquide pour éliminer l'excès d'eau (le phénomène de diurèse), et il y aura ensuite rejet d'une urine qui deviendra peu à peu solide et sèche.



Tube digestif de l'Abeille domestique.
m : tubes de Malpighi - In : *Les abeilles* par J. Pérez, 1889.

ment prélevés de l'hémolymphe. Il y a donc récupération d'eau malgré l'augmentation progressive de la pression osmotique du contenu rectal. Divers ions (surtout alcalins comme le sodium ou le potassium...), ainsi que presque tous les acides aminés sont réabsorbés. Dans la lumière, le retrait de l'eau et des ions alcalins aboutit à une acidification du fluide rectal, ce qui provoque la précipitation de l'acide urique sous forme de cristaux sphériques. Ceux-ci se déverseront dans le proctodéum pour être finalement expulsés par l'anus avec les fèces. ■

L'auteur

Pierre-Olivier Maquart

52 chemin du Fief du Magny

85210 Sainte-Hermine

Courriel : pierreoliviermaquart@yahoo.fr

Bibliographie

Cranston P.S., Gullan P.J., 2011. *The insects : an outline of entomology*. Blackwell Editions. Oxford. pp. 74-89 Accès libre sur Internet.

Pour en savoir plus, ces articles accessibles à partir de www.inra.fr/opie-insectes/-sommair.htm :

- Malpighi ou l'anatomiste persécuté, par Jacques d'Aguilar. *Insectes* n°157, 2010(2)
- L'urine des Homoptères, un matériau utilisé ou recyclé de façons étonnantes, par Michel Boulard. *Insectes* n°80 et 81, 1991(1) et (2)
- Les insectes fileurs de soie, par Alain Fraval. *Insectes* n°156 et 157, 2010(1) et (2)
- Les vers luisants de la Nouvelle-Zélande, par Pierre Jolivet. *Insectes* n° 138, 2005(3)

Au niveau des papilles rectales, la réabsorption de l'eau est associée à un transport actif d'ions depuis les cellules tapissant l'intérieur des papilles rectales vers les espaces situés entre ces cellules. Cela permet ainsi une augmentation de la pression osmotique dans ces espaces, permettant d'amener un flux d'eau provenant du rectum. Les ions prélevés dans le cytoplasme des cellules sont remplacés par des ions venant du rectum ou directe-

Ammoniaque	Urée	Acide urique
1 atome d'azote expulsé	2 atomes d'azote expulsés	4 atomes d'azote expulsés
Énergie requise à la production		
Quantité d'eau nécessaire à l'expulsion		

Les différentes molécules susceptibles d'excréter des atomes d'azote