Sandrine Heusser
Henri-Gabriel Dupuy

Atlas de biologie animale

DUNOD

Cet ouvrage remplace l'atlas de biologie animale en deux volumes des mêmes auteurs :

Tome 1. Les grands plans d'organisation, 3e éd., 2008

Tome 2. Les grandes fonctions, 2e éd., 2008

Illustrations de couverture :

Grenouille © pedro campo 85 - Fotolia.com

Esturgeon © Kletr - Fotolia.com

Étoile de mer © Roy Pedersen - Fotolia.com

Martin-pêcheur © thawats - Fotolia.com

Sauterelle © Chrises - Fotolia.com

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 1er 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, 2015

5 rue Laromiguière, 75005 Paris

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-073773-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° 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.

Copyright © 2015 Dunod.

Table des matières

Avant-propos viii

Remerciements 1

1. Les grands plans d'organisation

Les Alvéolobiontes, des organismes unicellulaires eucaryotes

Fiche 1 Le plan d'organisation de la *Paramécie* 3

Fiche 2 La reproduction de la *Paramécie* ; la diversité des eucaryotes unicellulaires 5

Les Porifères, des Métazoaires parazoaires

Fiche 3 Le plan d'organisation du *Sycon* 7

Fiche 4 La reproduction du *Sycon* ; aperçu de la diversité des Porifères 9

Les Cnidaires, des Eumétazoaires diploblastiques

Fiche 5 Le plan d'organisation de l'*Hydre d'eau douce* 11

Fiche 6 La reproduction de l'*Hydre d'eau douce* ; aperçu de la diversité des Cnidaires 13

Les Annélides, des Bilatériens protostomiens lophotrochozoaires

Fiche 7 Le plan d'organisation du *Lombric* par la dissection 15

Fiche 8 Le plan d'organisation du *Lombric* par l'histologie 17

Fiche 9 Aperçu de la diversité et de la reproduction des Annélides 19

Les Eumollusques, des Bilatériens protostomiens lophotrochozoaires

Fiche 10 Le plan d'organisation de la *Moule* par la dissection 21

Fiche 11 Le plan d'organisation de la *Moule* par l'histologie ; aperçu de la diversité des Eumollusques 23

Les Plathelminthes, des Bilatériens protostomiens lophotrochozoaires

Fiche 12 Le plan d'organisation de la *Planaire* ; aperçu de la diversité des Platheminthes 25

Les Arthropodes, des Bilatériens protostomiens ecdysozoaires

Fiche 13 Le plan d'organisation de l'*Écrevisse* par la dissection 27

Fiche 14 Le plan d'organisation de l'*Écrevisse* par l'histologie ; la reproduction des Pancrustacés 29

Fiche 15 Le plan d'organisation du *Criquet* par la dissection 31

Fiche 16 Le plan d'organisation du *Criquet* et du *Grillon* par l'histologie ; la reproduction des Hexapodes 33

Fiche 17 Aperçu de la diversité des Arthropodes 35

Les Nématodes, des Bilatériens protostomiens ecdysozoaires

Fiche 18 Le plan d'organisation par la dissection et le cycle de vie de l'*Ascaris* 37

Fiche 19 Le plan d'organisation de l'*Ascaris* par l'histologie 39

Copyright © 2015 Dunod.

Les Échinodermes, des Bilatériens deutérostomiens

Fiche 20 Le plan d'organisation de l'*Étoile de mer* par la dissection 41

Fiche 21 Le plan d'organisation de l'*Étoile de mer* par l'histologie ; aperçu de la diversité des Échinodermes 43

Les Chordés, des Bilatériens deutérostomiens

Fiche 22 Le plan d'organisation du *Gardon* par la dissection 45

Fiche 23 Le plan d'organisation du *Vairon* et de la *Truite* par l'histologie 47

Fiche 24 Le plan d'organisation de la *Grenouille* par la dissection 49

Fiche 25 Le plan d'organisation de la *Grenouille* par l'histologie 51

Fiche 26 Le plan d'organisation de la *Souris* par la dissection 53

Fiche 27 Le plan d'organisation de la *Souris* par l'histologie ; aperçu de la diversité des Chordés 55

Éléments de classification et plans d'organisation

Fiche 28 Éléments de classification et plans d'organisation 57

2. Les grandes fonctions : la nutrition

La nutrition : alimentation et appareils digestifs

Fiche 29 De la prise alimentaire au malaxage chez les Insectes 61

Fiche 30 De la digestion à l'absorption chez les Insectes 63

Fiche 31 La diversité de la prise alimentaire et les adaptations des pièces buccales des Insectes 65

Fiche 32 De la prise alimentaire au malaxage chez les Vertébrés 67

Fiche 33 De la digestion à l'absorption chez les Vertébrés 69

Fiche 34 De la digestion à l'absorption chez les Vertébrés 71

Fiche 35 Les sécrétions digestives impliquées dans la digestion : les glandes digestives des Vertébrés 73

Fiche 36 La diversité des régimes alimentaires et les adaptations des dents des Mammifères 75

Fiche 37 La digestion chez les ruminants 77

Fiche 38 La diversité de la prise alimentaire et l'organisation de la radula des Eumollusques 79

Fiche 39 Unité et diversité de l'alimentation et des appareils digestifs des animaux 81

La nutrition : échanges gazeux et appareils respiratoires

Fiche 40 Les échanges gazeux respiratoires et la diversité des appareils branchiaux en milieu aquatique 83

Fiche 41 Les échanges gazeux respiratoires et les appareils branchiaux des Vertébrés aquatiques 85

Fiche 42 Les échanges gazeux respiratoires et les appareils trachéens des Arthropodes aériens 87

Fiche 43 Les échanges gazeux respiratoires et les appareils pulmonaires des Mammifères 89

Copyright © 2015 Dunod.

Fiche 44 Les échanges gazeux respiratoires et la diversité des appareils pulmonaires des Vertébrés aériens 91
Fiche 45 Unité et diversité des échanges gazeux et des appareils respiratoires des animaux 93

La nutrition : excrétion et appareils excréteurs

Fiche 46 La production et l'évacuation de l'urine par les appareils néphridiens 95
Fiche 47 La production et l'évacuation de l'urine par les appareils rénaux 97
Fiche 48 La production de l'urine et la diversité des reins des Vertébrés 99
Fiche 49 La production et l'évacuation de l'urine par les tubes de Malpighi et le proctodeum des Insectes 101
Fiche 50 Unité et diversité de l'excrétion et des appareils excréteurs des animaux 103

3. Les grandes fonctions : les relations

Les relations : protection, systèmes tégumentaire et immunitaire

Fiche 51 La protection et la diversité des systèmes tégumentaires chez les Protostomiens 105
Fiche 52 La protection par le tégument et les phanères chez les Vertébrés aériens 107
Fiche 53 La protection par le tégument chez les Vertébrés aquatiques et amphibies 109
Fiche 54 La protection par les cellules des liquides corporels et la réaction immunitaire. 111
Fiche 55 La protection et les organes lymphoïdes des Vertébrés, à l'origine des cellules immunitaires 113
Fiche 56 La protection et les organes lymphoïdes des Vertébrés, à l'origine des cellules immunitaires 115
Fiche 57 Unité et diversité de la protection par les systèmes tégumentaires et immunitaires des animaux 117

Les relations : mobilité, systèmes musculaire et squelettique

Fiche 58 La mobilité et la diversité des associations entre musculature et squelette 119
Fiche 59 Le développement et la transmission des forces par les systèmes musculaire et squelettique 121

Les relations : sensibilité, organes sensoriels

Fiche 60 Les yeux et la réception des informations lumineuses 123
Fiche 61 Les mécanorécepteurs et la réception des informations mécaniques. 125
Fiche 62 Les mécanorécepteurs et les chémorécepteurs, la réception des informations mécaniques et chimiques 127

Les relations : mobilité et sensibilité, systèmes musculaire, squelettique et sensible

Fiche 63 Unité et diversité de la mobilité et de la sensibilité des animaux 129

Copyright © 2015 Dunod.

4. Les grandes fonctions : l'intégration

L'intégration : coordination, systèmes nerveux et endocrinien

Fiche 64 La centralisation des systèmes nerveux des Protostomiens 131
Fiche 65 La cérébralisation des systèmes nerveux des Protostomiens 133
Fiche 66 La conduction et l'intégration dans le système nerveux central des Vertébrés 135
Fiche 67 La conduction et l'intégration dans le système nerveux périphérique des Vertébrés 137
Fiche 68 La transmission de l'information par voie nerveuse et le système nerveux 139
Fiche 69 Les interactions hormonales et les glandes endocrines des Mammifères 141
Fiche 70 Les interactions hormonales et les glandes endocrines des Mammifères 143
Fiche 71 La transmission de l'information par voie hormonale et le système endocrinien 145

L'intégration : distribution et appareils circulatoires

Fiche 72 La mise en mouvement du sang et le cœur des Mammifères 147
Fiche 73 La distribution du sang par les vaisseaux sanguins, du cœur aux organes chez les Vertébrés 149
Fiche 74 La distribution du sang par les vaisseaux sanguins, des organes au cœur chez les Vertébrés 151
Fiche 75 La propulsion et la distribution de l'hémolymphe par le cœur et les vaisseaux chez les Insectes 153
Fiche 76 Unité et diversité de la distribution et des appareils circulatoires chez les animaux 155

5. Les grandes fonctions : la reproduction

La reproduction : production des gamètes et gonades

Fiche 77 La production des ovules par l'ovaire chez les Mammifères 157
Fiche 78 La production des spermatozoïdes par le testicule chez les Mammifères 159
Fiche 79 La production des ovules par l'ovaire et des spermatozoïdes par le testicule chez les Insectes 161
Fiche 80 La production des ovules et des spermatozoïdes chez les animaux hermaphrodites 163
Fiche 81 L'ovogenèse : des ovogonies aux ovules 165
Fiche 82 La spermatogenèse : des spermatogonies aux spermatozoïdes 167

La reproduction : production des œufs, voies génitales et glandes associées

Fiche 83 La prise en charge des ovules et des œufs : les voies génitales des Mammifères femelles 169
Fiche 84 Le transfert des spermatozoïdes : les voies génitales des Mammifères mâles 171

Copyright © 2015 Dunod.

Fiche 85 La formation du sperme : les glandes associées aux voies génitales des Mammifères mâles 173
Fiche 86 Le transfert des gamètes : les voies génitales et les glandes associées des Insectes 175
Fiche 87 Le transfert des gamètes chez les animaux hermaphrodites : les voies génitales du *Lombric* 177

La reproduction : quelques aspects du développement des descendants
Fiche 88 La viviparité des Mammifères : la fécondation, l'implantation et le placenta 179
Fiche 89 L'alimentation du nouveau-né : les glandes mammaires des Mammifères 181

La reproduction : de la gamétogenèse au développement des descendants
Fiche 90 Unité et diversité de la reproduction sexuée des animaux 183

6. Techniques et méthodes

Techniques et méthodes : orienter et mesurer
Fiche 91 Les plans, les axes et les dimensions des animaux 185

Techniques et méthodes : identifier et décrire les tissus animaux
Fiche 92 Le tissu épithélial de revêtement 187
Fiche 93 Le tissu épithélial glandulaire 189
Fiche 94 Les tissus conjonctifs 191
Fiche 95 Les tissus musculaires 193
Fiche 96 Les tissus nerveux 195

Techniques et méthodes : réaliser une dissection animale
Fiche 97 Les instruments de dissection et leur usage 197
Fiche 98 Préparer une dissection : de la morphologie à l'anatomie 199
Fiche 99 Étudier l'anatomie par une dissection 201

Techniques et méthodes : réaliser une étude d'histologie animale
Fiche 100 Confectionner une coupe histologique 203
Fiche 101 Utiliser un microscope photonique et un stéréomicroscope 205
Fiche 102 Étudier une coupe fine 207
Fiche 103 Étudier une coupe ultrafine 209
Fiche 104 Réaliser une représentation graphique et rédiger un commentaire 211

Bibliographie 212

Index 213

Liste des dénominations scientifiques des espèces 219

Crédits iconographiques 220

Copyright © 2015 Dunod.

Avant-propos

Cet atlas de biologie animale a pour objectif de fournir une documentation simple illustrant l'organisation et le fonctionnement des organismes animaux ainsi que de quelques organismes eucaryotes unicellulaires. Il expose d'une part les caractères morphologiques et anatomiques, et d'autre part les aspects physiologiques.

Il est issu de la combinaison et de la révision du précédent atlas en deux volumes.
Présenté sous forme de fiches, il est succinct et n'a pas vocation à proposer une étude exhaustive des sujets traités. Il en donne un aperçu illustré, qui peut être complété par la lecture des ouvrages de référence de la bibliographie.

La partie consacrée aux plans d'organisation présente les caractères généraux de quelques grands groupes d'organismes animaux, grâce à l'étude d'exemples précis et classiques.
Ils sont abordés par des observations externes, des dissections ainsi que des coupes histologiques totales ou des montages *in toto*.
L'étude aboutit à un bilan récapitulant les traits distinctifs des formes animales et replaçant les groupes examinés dans une perspective phylogénétique.

L'étude du fonctionnement des organismes animaux, complémentaire de celle de leurs plans d'organisation, est réalisée selon une approche relevant de l'anatomie et l'histologie fonctionnelles.
En relation avec la variété des plans d'organisation et la diversité des modes et milieux de vie, les appareils, systèmes et organes permettant la réalisation des grandes fonctions sont décrits. Leur diversité structurale et leur unicité fonctionnelle sont mises en évidence aux différentes échelles.
Les fonctions de nutrition (approvisionnement de l'organisme en nutriments et énergie, élimination des déchets produits par l'organisme), de relation (rapports établis par l'organisme avec le milieu extérieur et les autres organismes) et de reproduction (production d'une descendance) sont examinées dans ces perspectives ainsi que la fonction d'intégration (coordination de ces activités, assurant un fonctionnement harmonieux des organismes). Chacune donne lieu à une synthèse résumant les points essentiels de l'étude.

Plusieurs fiches pratiques complètent cet atlas, présentant les techniques et méthodes couramment employées en biologie animale, qu'il s'agisse de préparer, d'observer ou d'interpréter des coupes histologiques, de réaliser une dissection ou d'en rendre compte.
Destinées à accompagner les premières expériences pratiques des étudiants, ces fiches ont vocation à être personnalisées au fur et à mesure de leur appropriation des techniques et méthodes décrites.

Réalisé sous forme concise, cet ouvrage est principalement destiné aux étudiants des licences scientifiques des universités ainsi qu'aux élèves des classes préparatoires aux grandes écoles. Toutefois, sa conception en fait un outil également intéressant pour les étudiants de master, notamment préparant les concours de recrutement des enseignants du second degré (CAPES des sciences de la vie et de la Terre et Agrégation des sciences de la vie – sciences de la Terre et de l'univers).

Copyright © 2015 Dunod.

Remerciements

Les illustrations de cet ouvrage ont été produites par les auteurs, sauf indication contraire (voir rubrique Crédits iconographiques p. 220).

Les départements de biologie de l'université Jean Monnet de Saint-Étienne et de l'École normale supérieure de Lyon ont aimablement mis à disposition les instruments optiques et le matériel biologique nécessaires.

Les auteurs adressent leurs sincères remerciements aux membres des équipes techniques de ces départements pour leur aide et leur soutien, notamment Odile Liset et Margarethe Maillart.

Le manuscrit de l'ouvrage a fait l'objet d'une relecture attentive de la part et a bénéficié des conseils avisés de :

- Yann Bassaglia, Maître de conférences à l'université Paris-Est Créteil Val-de-Marne, responsable du master MEEF 2nd degré SVT et de la préparation à l'agrégation interne de SVT de l'académie de Créteil ;
- Jean-François Beaux, Professeur en classe préparatoire BCPST au lycée Hoche de Versailles ;
- François Gauer, Professeur de Biologie et physiologie comparée, Doyen de la faculté des sciences de la vie de l'université de Strasbourg ;
- Marc Robinson-Rechavi, Professeur de bioinformatique au département d'Écologie et évolution de l'université de Lausanne, chef de groupe Bioinformatique évolutive à l'Institut suisse de bioinformatique ;
- Marie-Hélène Segretain, Maître de conférences, responsable de la licence SVTU de l'université Lyon 1.

Les auteurs leur expriment toute leur gratitude.

Copyright © 2015 Dunod.

1 Les Alvéolobiontes, des organismes unicellulaires eucaryotes

FIGURE 1

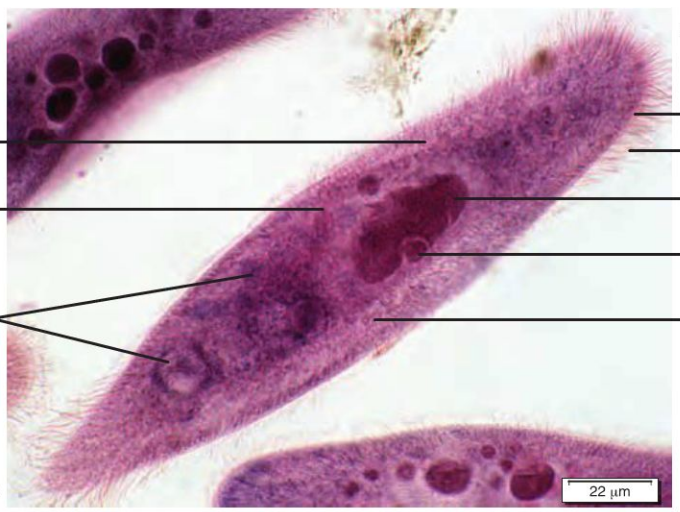
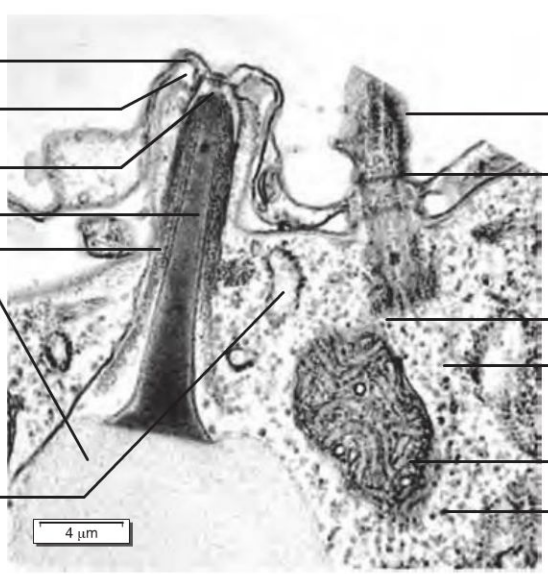


FIGURE 2

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de la *Paramécie*

La *Paramécie* est un exemple d'être vivant eucaryote unicellulaire. Cet organisme, appartenant au taxon des Ciliés au sein des Alvéolobiontes, évolue en eau douce.

Figure 1. La *Paramécie* : une cellule organisme complexe (*montage* in toto, *microscope photonique*) La cellule est allongée et a la forme d'une pantoufle, dont l'extrémité antérieure est arrondie et l'extrémité postérieure effilée. Elle est uniformément recouverte de cils disposés en rangées régulières, les cinéties, caractéristiques des Ciliés. Elle possède une vaste dépression ciliée au fond de laquelle s'ouvre le cytostome. Il débouche sur le cytopharynx où les particules alimentaires sont ingérées par endocytose et englobées au sein de vacuoles digestives qui migrent ensuite dans le cytoplasme. Durant ce transit, les aliments sont digérés. Les résidus non assimilables sont déversés dans le milieu extérieur par exocytose au niveau du cytoprocte.

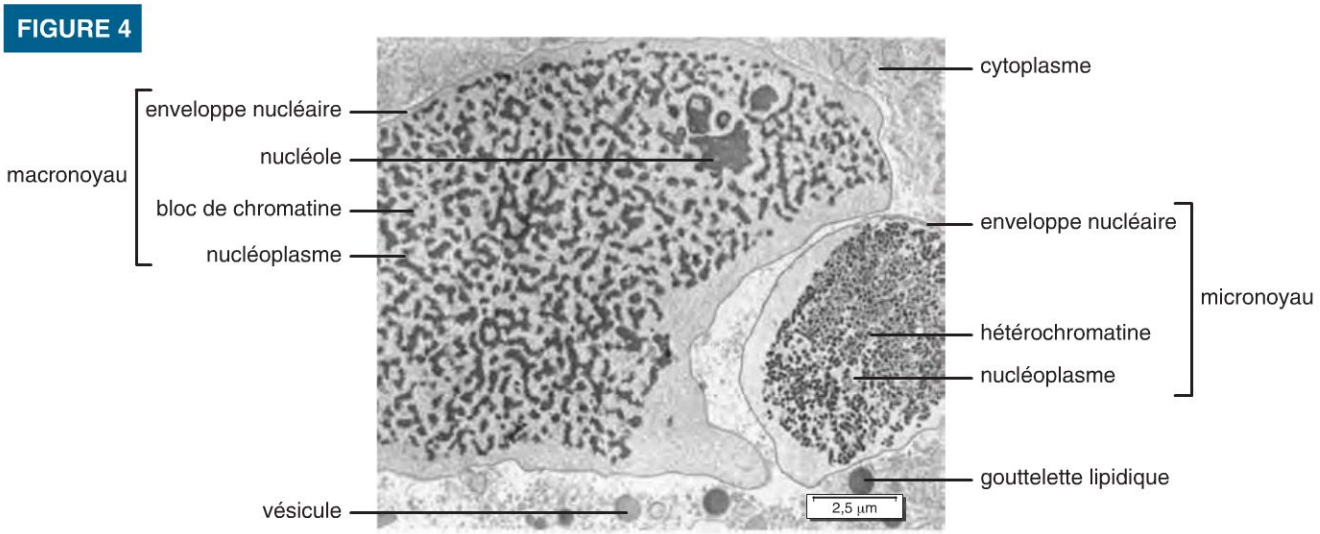
Figure 2. Les vacuoles pulsatiles de la *Paramécie* : les organites du contrôle de la concentration osmotique (*microscope à contraste de phase*) Deux vacuoles pulsatiles, l'une antérieure et l'autre postérieure, sont présentes dans le cytoplasme. Des canalicules cytoplasmiques y sont reliés et y déversent leur contenu. Régulièrement et alternativement, les vacuoles pulsatiles expulsent dans le milieu la solution qu'elles contiennent, contribuant ainsi au contrôle de la concentration osmotique de la cellule.

Figure 3. Les cils et les trichocystes de la *Paramécie* : des structures locomotrices et de défense (*microscope électronique à transmission*) Entre les cils sont disposées des vésicules appelées trichocystes. Interprétés comme des structures de défense, ils sont expulsés vers l'extérieur en réponse à une stimulation. Le corps du trichocyste forme alors un long ruban de 50 µm environ, terminé par une pointe. Des alvéoles, vésicules aplaties, sont en outre visibles sous la membrane plasmique. Elles signent l'appartenance de la *Paramécie* au groupe des Alvéolobiontes.

Figure 4. Les noyaux de la *Paramécie* : les organites abritant le matériel génétique (*microscope électronique à transmission*) L'appareil nucléaire est composé de deux noyaux de tailles inégales et de fonctions complémentaires. Le macronoyau ovoïde, de grande taille (35 µm de longueur pour 12 µm de largeur), est impliqué dans la vie végétative. Le micronoyau, de petite taille (3 µm de diamètre), étroitement accolé au précédent, participe quant à lui à la vie reproductive.

La *Paramécie* possède en outre, comme toute cellule eucaryote, des mitochondries, un réticulum endoplasmique, un appareil de Golgi, des ribosomes. Son cytosquelette est bien développé.

FIGURE 4

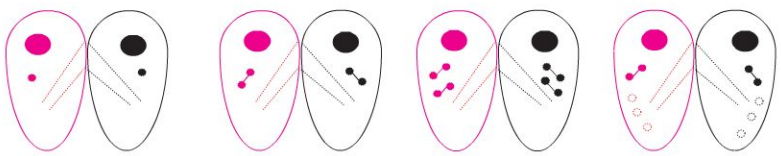


Copyright © 2015 Dunod.

1 Les Alvéolobiontes, des organismes unicellulaires eucaryotes

FIGURE 1

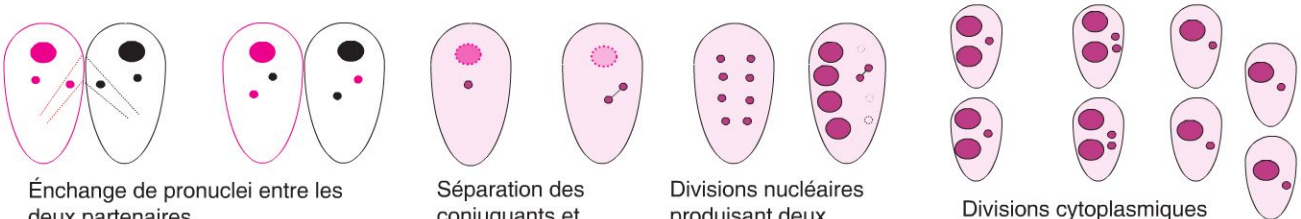
FIGURE 2



Accolement de deux individus de types complémentaires et établissement de connexions cytoplasmiques

Division méiotique du micronoyau

Mitose d'un micronoyau donnant naissance à un pronucleus, dégénérescence des trois autres



Énchange de pronuclei entre les deux partenaires

Séparation des conjuguants et caryogamie, dégénérescence du macronoyau

Divisions nucléaires produisant deux micronoyaux et quatre macronoyaux

Divisions cytoplasmiques et nucléaires formant quatre cellules

FIGURE 3

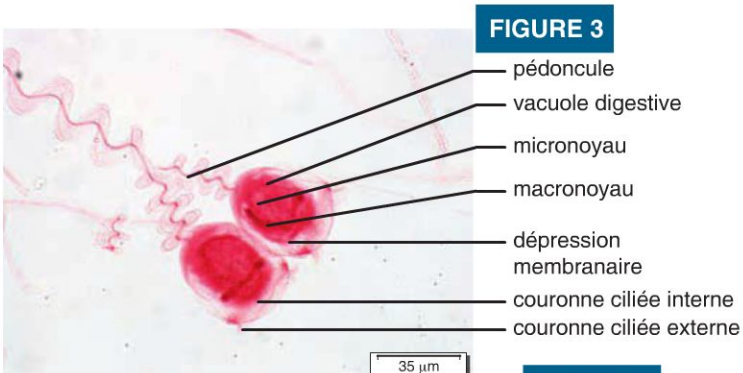


FIGURE 4

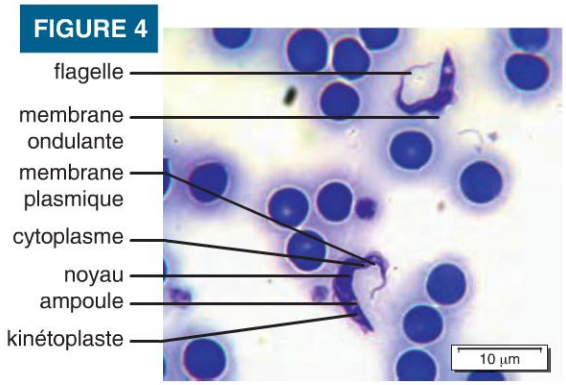


FIGURE 5

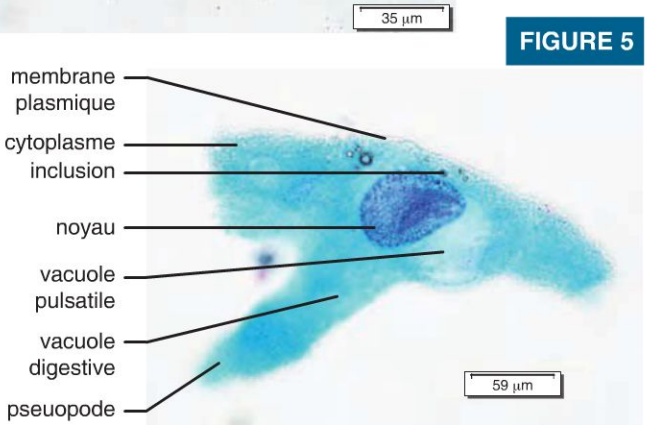
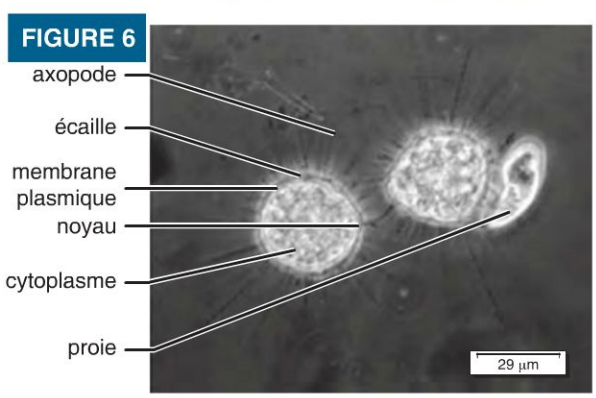


FIGURE 6



Copyright © 2015 Dunod.

La reproduction de la *Paramécie* ; la diversité des eucaryotes unicellulaires

fiche 2

La *Paramécie* est un organisme capable de se reproduire : la cellule réalise une multiplication, de type mitotique ou précédée d'échanges génétiques avec une cellule partenaire.

Figure 1. La division binaire de la *Paramécie* : une reproduction asexuée (*montage* in toto, *microscope photonique*) La division d'une cellule mère en deux cellules filles est un mode de reproduction courant chez la *Paramécie*. Une scission transversale, précédée par la duplication des organites, donne naissance à deux cellules ressemblant à la cellule initiale et possédant le même matériel génétique. Ce processus est une reproduction asexuée.

Figure 2. La conjugaison de la *Paramécie* : des échanges génétiques précédant une multiplication (*montage* in toto, *microscope photonique*) La *Paramécie* est également capable de réaliser une conjugaison impliquant la participation de deux partenaires. Elle comporte une phase de méiose conduisant à la production de pronuclei haploïdes, suivie d'un échange de matériel génétique et d'une caryogamie permettant le rétablissement de la diploïdie. Une multiplication des cellules fait suite à la conjugaison.

Les organismes comme la *Paramécie* sont constitués par une cellule unique : limitée par une membrane plasmique, elle est composée d'un cytoplasme structuré par un système de fibrilles, dans lequel baignent divers organites. Le matériel génétique est contenu dans un noyau (parfois deux, comme dans le cas étudié). Elle possède l'organisation caractéristique des cellules eucaryotes auxquelles elle peut être comparée.
Cette cellule est de plus un organisme à elle seule et réalise l'ensemble des fonctions caractéristiques de la vie. Elle présente ainsi des structures dont la différenciation est poussée, qui lui permettent de se mouvoir, de s'alimenter, d'excréter, de contrôler sa concentration osmotique et de se reproduire. En ce sens, elle peut également être comparée à un organisme pluricellulaire.

Diversité des eucaryotes unicellulaires

Un aperçu de la diversité des êtres vivants eucaryotes unicellulaires est donné ci-dessous.

Figure 3. Le *Vorticelle* : un organisme menant une vie fixée (*montage* in toto, *microscope photonique*) Alvéolobionte cilié, il évolue en eau douce et vit fixé par un pédoncule contractile.

Figure 4. Le *Trypanosome* : un organisme parasite osmotrophe (*frottis sanguin humain, microscope photonique*) Excavobionte euglénobionte parasite, il vit dans le sang des Mammifères. Il présente un seul flagelle longeant le corps cellulaire auquel il est relié par un réseau protéique formant une membrane ondulante. L'agent de la maladie du sommeil humaine est un *Trypanosome*.

Figure 5. L'*Amibe* : un organisme libre, mobile grâce à des pseudopodes (*montage* in toto, *microscope photonique*) Amibozoaire vivant en eau douce, elle possède des prolongements cytoplasmiques temporaires appelés pseudopodes, assurant son déplacement et son alimentation.

Figure 6. L'*Héliozoaire* : un organisme prédateur phagotrophe (*microscope à contraste de phase*) Rhizarien cercozoaire d'eau douce, il présente de fins prolongements cellulaires appelés axopodes, soutenus par des microtubules, qui se rétractent après la capture d'une proie.

Les êtres vivants eucaryotes unicellulaires présentent des milieux et des modes de vie très divers : ils sont rencontrés aussi bien en milieu marin qu'en eau douce mais également dans le sol. Certains sont mobiles, d'autres vivent fixés. Il existe par ailleurs des espèces parasites et des espèces vivant en symbiose avec d'autres organismes.
Leur évolution s'inscrit dans le cadre d'un état unicellulaire. Certains d'entre eux édifient des colonies résultant de la séparation incomplète d'individus issus de la reproduction asexuée (genre *Volvox*, par exemple). Les colonies d'organismes unicellulaires sont distinctes des organismes pluricellulaires dans lesquels les cellules sont associées de manière permanente par des jonctions intercellulaires, sont spécialisées et présentent des activités coordonnées.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

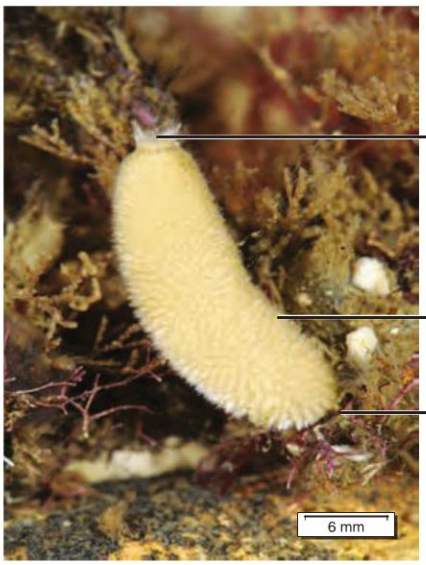
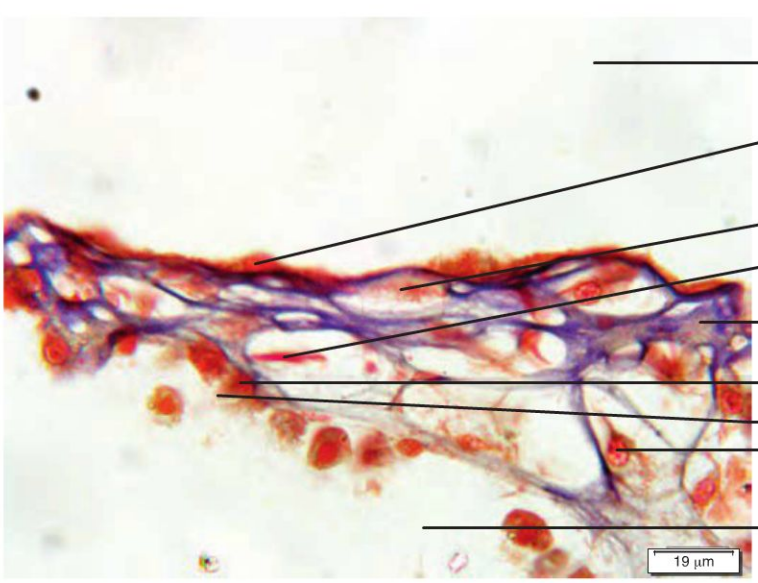


FIGURE 4

FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation du *Sycon*

L'étude du *Sycon* est l'occasion de dégager les caractères essentiels des Porifères (ou Spongiaires), organismes aquatiques présents en milieu marin et plus rarement en eau douce, vivant fixés sur un substrat.

Figure 1. La morphologie du *Sycon* : un organisme fixé dépourvu d'organe et de symétrie (*vue externe*) En forme de petite outre fixée, l'animal possède une paroi percée de pores et son extrémité libre porte un orifice large, l'oscule. Il ne possède ni symétrie, ni organe défini.

Figures 2. et 3. L'anatomie du *Sycon* : une paroi corporelle formée de deux nappes cellulaires, entourant un atrium (*coupes longitudinale et transversale, microscope photonique*) La paroi du corps délimite une vaste cavité générale, l'atrium. Elle est revêtue extérieurement par une nappe cellulaire externe, creusée de corbeilles vibratiles, et bordée d'une nappe cellulaire interne au contact de l'atrium. Une gelée abondante, le mésohyle, occupe les espaces entre les deux nappes cellulaires et les corbeilles vibratiles.

Figures 4. et 5. L'organisation cellulaire du *Sycon* : des cellules spécialisées, dont les choanocytes spécifiques (*coupe transversale, microscope photonique*) La nappe cellulaire externe est formée de pinacocytes aplatis et prend le nom de pinacoderme. Le mésohyle contient les spicules (éléments de soutien minéralisés) et de nombreuses cellules : collencytes élaborant le gel du mésohyle, sclérocytes sécrétant les spicules, amœbocytes mobiles et peu différenciés pouvant évoluer en gonocytes ou donner naissance aux autres types cellulaires. Les choanocytes, cellules caractéristiques des Porifères formant le choanoderme, ont une forme cylindrique et possèdent un flagelle émergeant au cœur d'une collerette composée de longues microvillosités accolées. Le battement des flagelles est à l'origine d'un courant d'eau assurant la nutrition de l'animal. Les choanocytes réalisent également la phagocytose des particules nutritives qui sont ensuite transmises aux amœbocytes. Ces derniers en assurent la distribution.
Les nappes cellulaires du *Sycon* ne reposent pas sur des membranes basales et leurs cellules ne sont pas reliées par des jonctions intercellulaires. Ces ensembles pluricellulaires ne constituent donc pas de véritables épithéliums. De ce fait, les Porifères sont considérés comme des Métazoaires parazoaires.

FIGURE 2

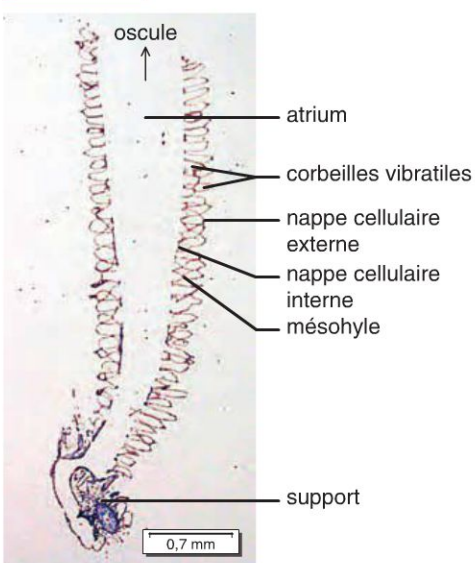
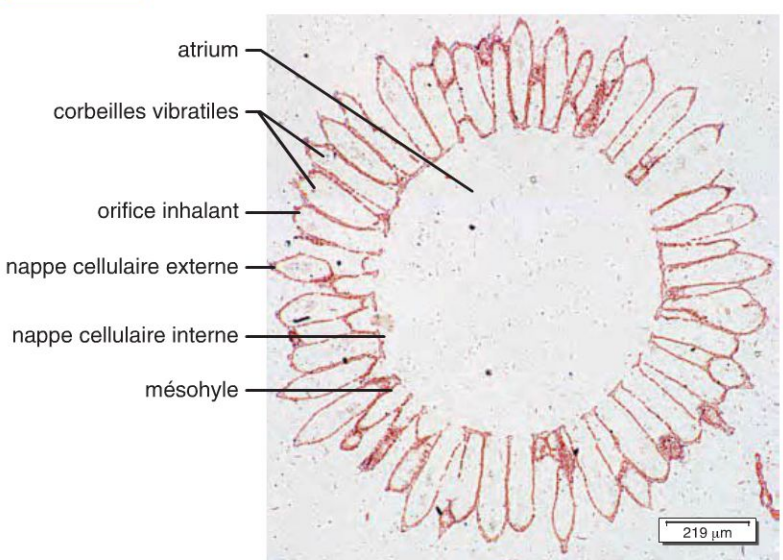


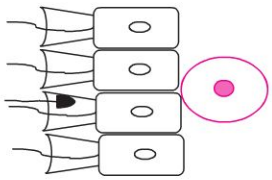
FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

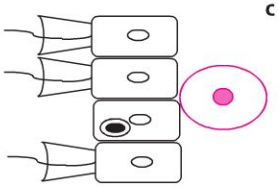
FIGURE 1

a



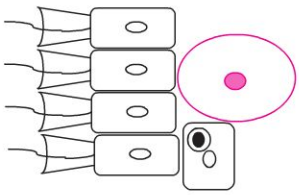
L'ovocyte, dérivé d'un gonocyte du mésohyle, est accolé sous les choanocytes, le spermatozoïde issu d'une spermatogenèse classique s'engage dans le choanocyte le plus proche.

b



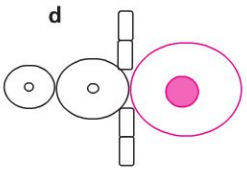
Une vacuole se forme autour du spermatozoïde, le choanocyte perd sa collerette, son flagelle et se transforme en cellule charriante.

c

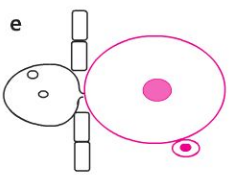


La cellule charriante contenant le spermiokyste s'enfonce dans le mésohyle.

d

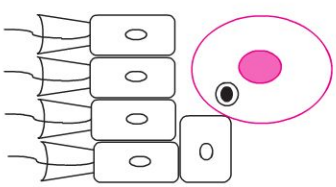


e



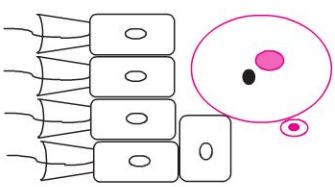
L'ovocyte migre vers un canal aquifère, s'associe à deux cellules (nourricière et accessoire) aux dépens desquelles il s'accroît et subit une première division de maturation.

f



L'ovocyte rejoint la cellule charriante, le spermiokyste lui est transmis et la seconde division de maturation se produit.

g

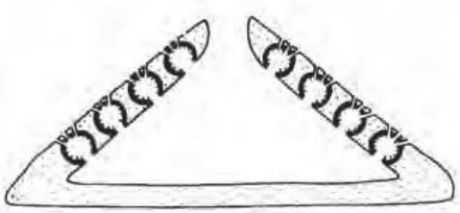


Le noyau du spermiokyste est libéré, il se transforme en pronucleus mâle qui fusionne avec le pronucleus femelle.

FIGURE 3

ascon

sycon



rhagon

leucon

Copyright © 2015 Dunod.

La reproduction du *Sycon* ; aperçu de la diversité des Porifères

fiche 4

Les Porifères se reproduisent par voie sexuée. Ils sont par ailleurs capables de régénérer certaines parties de leur organisme, ce qui peut être mis en relation avec l'existence fréquente d'une reproduction asexuée. Il peut s'agir d'un bourgeonnement externe mais aussi d'un bourgeonnement interne.
Les cas particuliers du *Sycon* et du *Spongille* en fournissent des exemples.

Figure 1. La reproduction sexuée du *Sycon* : un processus impliquant la formation de gamètes mâles et femelles et la fécondation Les spermatozoïdes sont libérés dans le milieu. Captés par les choanocytes dans le courant d'eau, ils pénètrent dans l'individu femelle et réalisent une fécondation interne. Le développement implique généralement la formation d'une larve libre planctonique, appelée amphiblastula.

Figure 2. La gemmule du *Spongille* : un bourgeon permettant la reproduction asexuée (*coupe transversale, microscope photonique*) Des groupes d'amœbocytes sont à l'origine des gemmules par bourgeonnement interne. Certains synthétisent la coque, d'autres élaborent les spicules et les derniers se transforment en archéocytes, cellules formant le nouvel individu. Alors que l'individu parent meurt en hiver, les gemmules résistent et donnent naissance à de nouveaux individus au printemps.

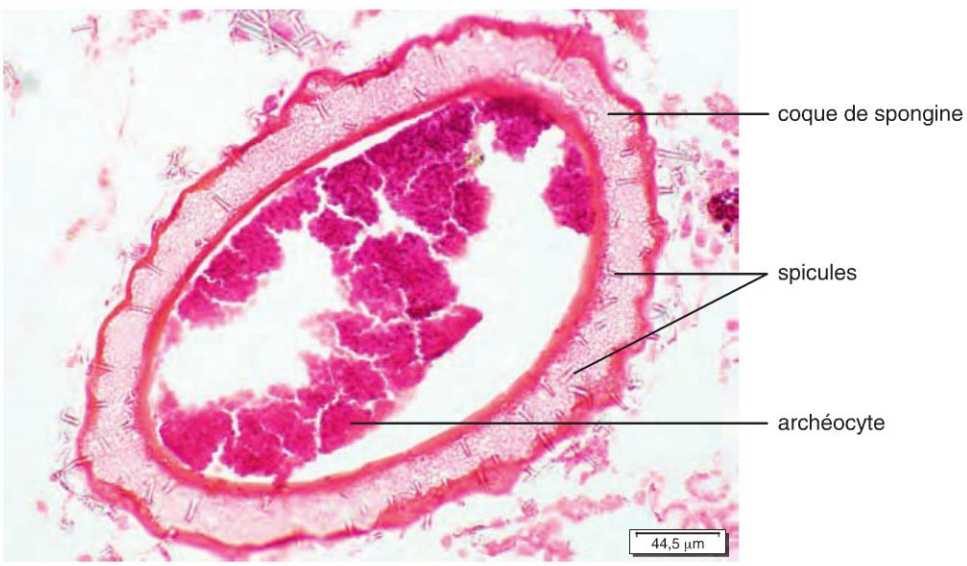
Diversité des Porifères

Le taxon des Porifères est traditionnellement divisé en deux groupes, tenant compte de la nature du squelette, des spicules et du matériel extracellulaire. Les Calcisponges, dont le *Sycon* est un exemple, possèdent des spicules calcaires ; les Silicisponges comme l'*Éponge de toilette* présentent un squelette de nature siliceuse, cornée, ou siliceuse et cornée.
Selon la complexité de leur organisation, divers types de Porifères sont en outre distingués.

Figure 3. L'organisation des Porifères : des canaux pariétaux aux corbeilles et chambres vibratiles. Le type le plus simple est qualifié d'ascon (stade juvénile), l'apparition des corbeilles vibratiles permet de définir la forme sycon des Calcisponges et la forme rhagon de certains Silicisponges. Enfin, la multiplication des corbeilles ainsi que leur enclavement dans un cortex caractérise le type leucon.

Les Porifères forment donc un taxon de Métazoaires parazoaires, dépourvus de véritables épithéliums, de symétrie et d'organes individualisés. Ils présentent une organisation simple et possèdent des cellules différenciées comme les choanocytes. Elles rappellent les Choanoflagellés, organismes eucaryotes unicellulaires formant un groupe frère des Métazoaires.

FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

Les Cnidaires, des Eumétazoaires diploblastiques

FIGURE 1

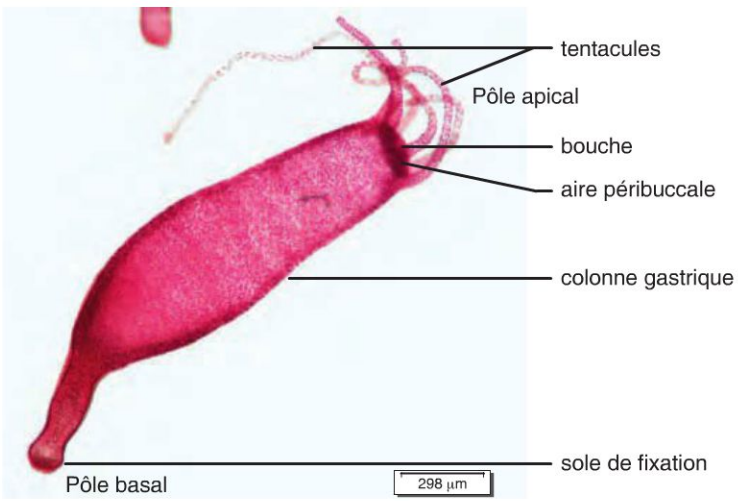


FIGURE 2

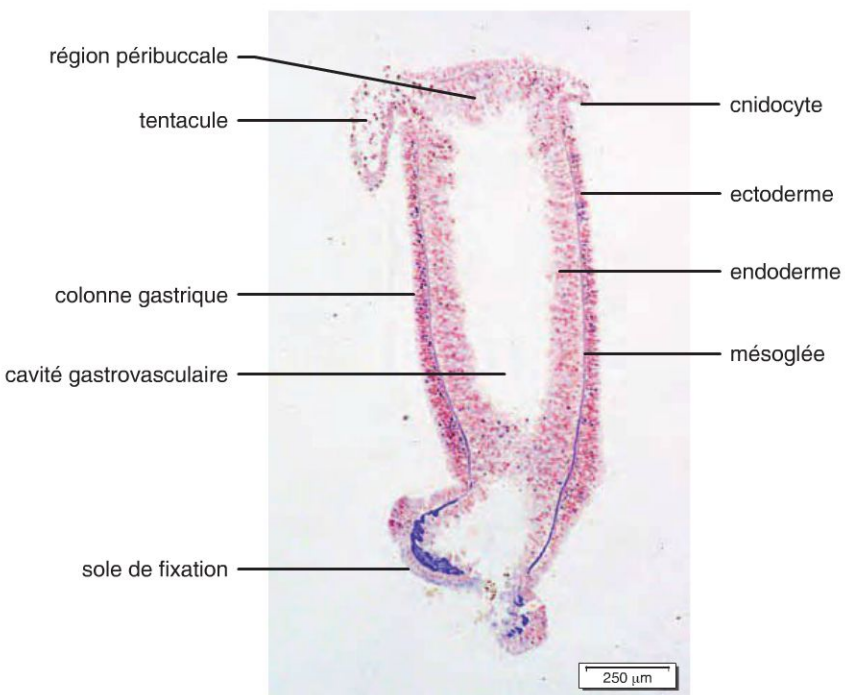
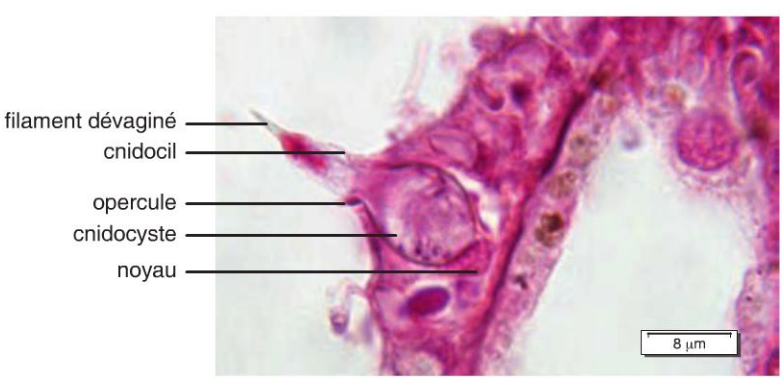


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de l'*Hydre d'eau douce*

fiche 5

L'exemple de l'*Hydre d'eau douce* permet de préciser certains des caractères fondamentaux des Cnidaires, animaux aquatiques évoluant le plus souvent en milieu marin mais parfois en eau douce.

Figure 1. La morphologie de l'*Hydre d'eau douce* : une colonne fixée sur le substrat et portant des tentacules entourant une bouche (*montage* in toto, *microscope photonique*) Le corps cylindrique de l'animal comporte une sole assurant la fixation sur le substrat, une colonne gastrique et une région péribuccale. Il est surmonté d'une couronne de six à dix tentacules entourant un orifice unique faisant office de bouche et d'anus. Cette forme est caractéristique des polypes de Cnidaires et présente une symétrie radiaire d'ordre pair, associée à un axe apicobasal.

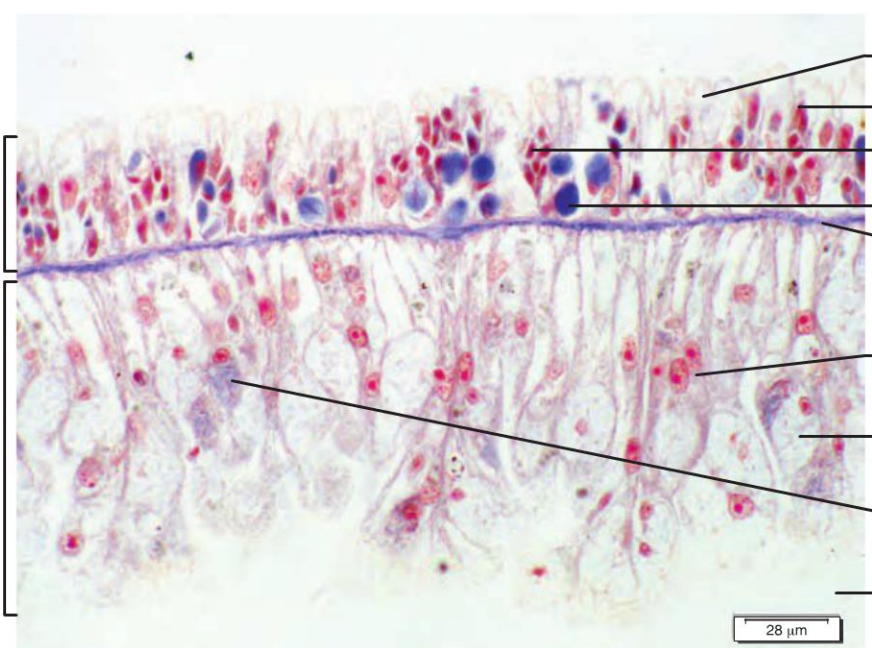
Figure 2. L'anatomie de l'*Hydre d'eau douce* : une cavité gastrovasculaire délimitée par une paroi à deux feuillets (*coupe longitudinale, microscope photonique*) La paroi du corps est composée d'un feuillet externe, l'ectoderme, et d'un feuillet interne, l'endoderme. Elle délimite une vaste cavité gastrovasculaire ouverte sur l'extérieur par la bouche, qui fait également office d'anus. Une gelée, la mésoglée, sépare ces deux feuillets.

Figures 3. et 4. L'organisation cellulaire de l'*Hydre d'eau douce* : des cellules spécialisées dont les cnidocytes spécifiques (*coupe longitudinale, microscope photonique*) L'ectoderme est constitué de cellules myoépithéliales riches en grains de sécrétion et possédant une base contractile, de cellules sensorielles munies d'un cil apical excitable et de cnidocytes, cellules urticantes spécifiques des Cnidaires. Celles-ci présentent un cnidocil excitable et renferment une capsule, le cnidocyste, où sont logés le liquide et le filament urticants. L'endoderme est quant à lui composé de cellules myoépithéliales riches en vacuoles digestives et portant un à cinq flagelles, de cellules glandulaires sécrétant des enzymes ou du mucus, et de cellules sensorielles. Les deux feuillets contiennent également des cellules interstitielles assurant leur renouvellement. La mésoglée comporte des cellules nerveuses formant un réseau diffus en relation avec les cellules sensorielles et les cnidocytes.

Chez les Cnidaires, des cellules spécialisées en termes de structure et de fonctions sont présentes, aspect caractéristique des êtres vivants pluricellulaires.

L'existence de vrais épithéliums associés à des membranes basales et de jonctions intercellulaires reliant les cellules voisines fait de l'*Hydre d'eau douce* un Eumétazoaire, et son organisation en deux feuillets justifie sa qualité de diploblastique.

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Les Cnidaires, des Eumétazoaires diploblastiques

FIGURE 1

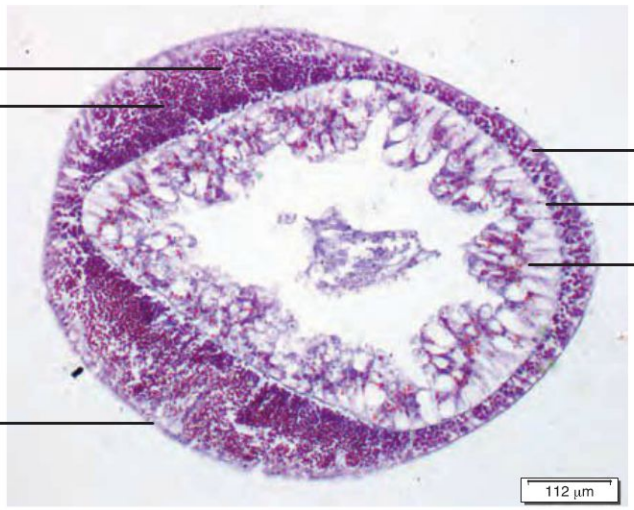


FIGURE 2

FIGURE 3

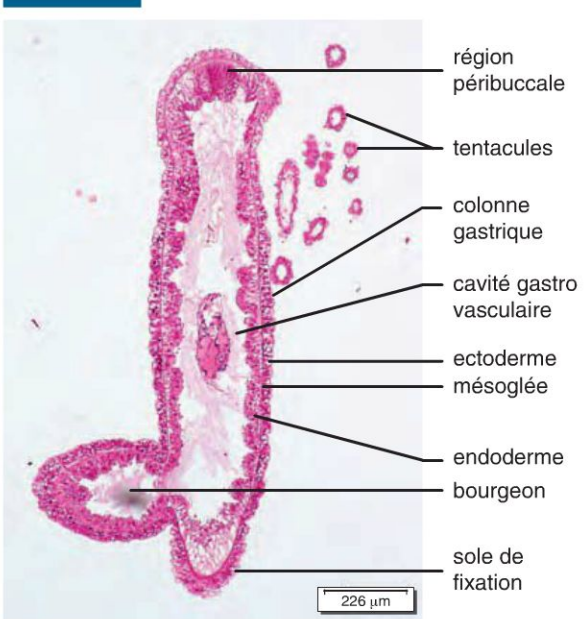
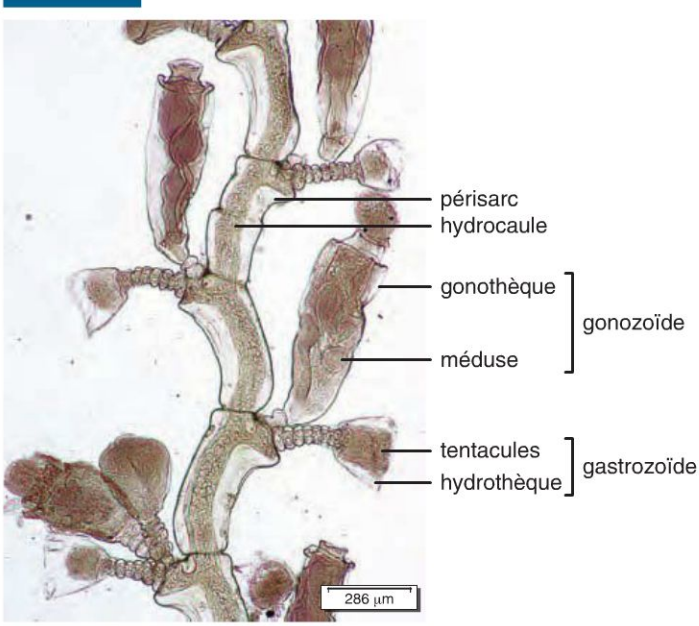


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

La reproduction de l'*Hydre d'eau douce* ; aperçu de la diversité des Cnidaires

fiche 6

L'*Hydre d'eau douce* réalise une reproduction par voie sexuée mais la reproduction asexuée, par bourgeonnement, est également possible. Elle est à corréler avec l'important pouvoir de régénération que possède l'espèce.

Figures 1. et 2. Les gonophores de l'*Hydre d'eau douce* : des organes temporaires de formation des gamètes (*coupes transversales, microscope photonique*) Selon l'espèce d'*Hydre d'eau douce* considérée, les individus sont hermaphrodites ou gonochoriques. Des gonophores mâles (testicules) et/ou femelles (ovaires) se développent, formant des excroissances sur le corps du polype. Les spermatozoïdes sont libérés par rupture du feuillet ectodermique et fécondent les ovules au sein des gonophores femelles. Les œufs produits se répandent dans le milieu et leur éclosion libère une larve planula, ciliée et constituée de deux feuillets. Elle se fixe sur le substrat et se transforme en une jeune *Hydre d'eau douce*.

Figure 3. Le bourgeonnement de l'*Hydre d'eau douce* : la formation de nouveaux individus par reproduction asexuée (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Des bourgeons, évaginations formées d'ectoderme et d'endoderme, apparaissent dans le tiers inférieur du polype. Ils s'allongent, développent des tentacules puis se détachent du polype parent après que leur bouche s'est ouverte.

Diversité des Cnidaires

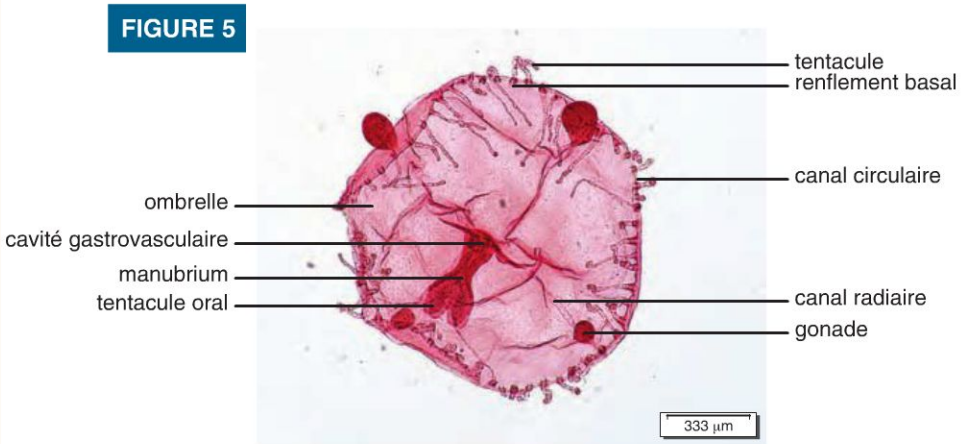
Figure 4. La forme polype des Cnidaires : un stade menant une vie fixée et réalisant une reproduction asexuée (*montage* in toto *de colonie d'*Obélie*, microscope photonique*) L'*Obélie* est une espèce marine, dont les polypes forment des colonies. Ils sont insérés sur des axes dressés (hydrocaules) portés par des structures rampantes (hydrorhizes) et recouverts d'un squelette ectodermique (périsarc). Deux types de polypes sont présents à maturité : les gastrozoïdes végétatifs et les gonozoïdes produisant la forme méduse par bourgeonnement.

Figure 5. La forme méduse des Cnidaires : un stade menant une vie libre et réalisant une reproduction sexuée (*montage* in toto *de méduse d'*Obélie, *microscope photonique*) La méduse est constituée d'une ombrelle en forme de cloche, obturée par un diaphragme, le velum. Elle possède une saillie axiale portant la bouche, le manubrium, et de multiples tentacules, dont certains sont associés à des organes d'équilibration. La cavité gastrovasculaire est divisée en un estomac central et en canaux radiaires débouchant dans un canal circulaire. Les gonades sont associées à la paroi des canaux radiaires.

Le cycle de vie des Cnidaires comporte généralement un stade polype donnant naissance à un stade méduse par reproduction asexuée. Celle-ci assure une reproduction sexuée, formant des gamètes. La fécondation est à l'origine d'un zygote dont le développement conduit à une larve planula nageuse. Après fixation sur un substrat, elle se transforme en polype. Dans certains cas l'un ou l'autre des stades peut disparaître, comme la méduse chez l'*Hydre d'eau douce*.

Le taxon des Cnidaires comporte deux groupes. Les Médusozoaires sont représentés par les Hydrozoaires, dont le cycle de vie comprend fréquemment les deux stades et dont l'*Obélie* et l'*Hydre d'eau douce* sont des exemples, et les Scyphozoaires à forme méduse dominante. Les Anthozoaires, second groupe, ont pour forme principale le polype, et incluent notamment les *Anémones de mer*.

FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

Les Annélides, des Bilatériens protostomiens lophotrochozoaires

FIGURE 1

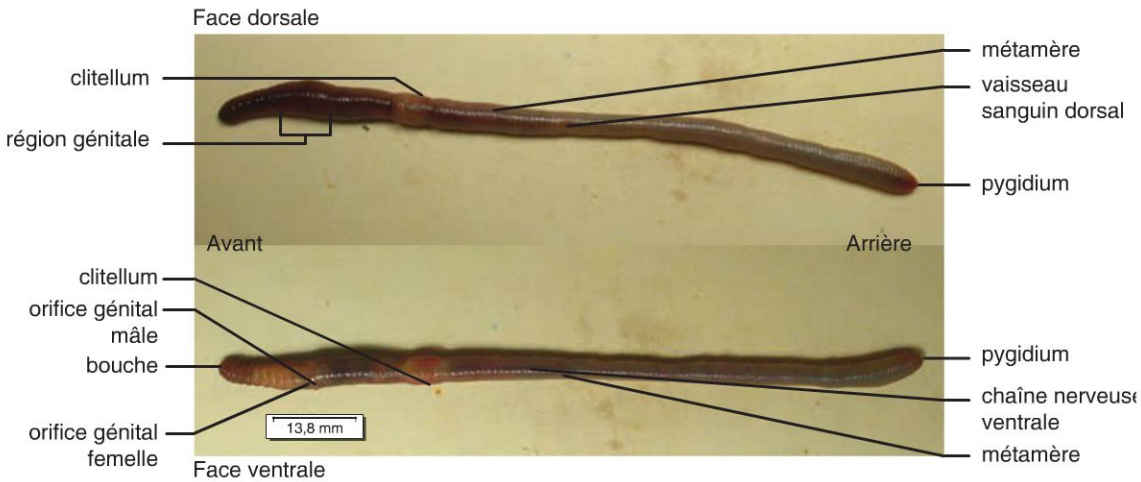
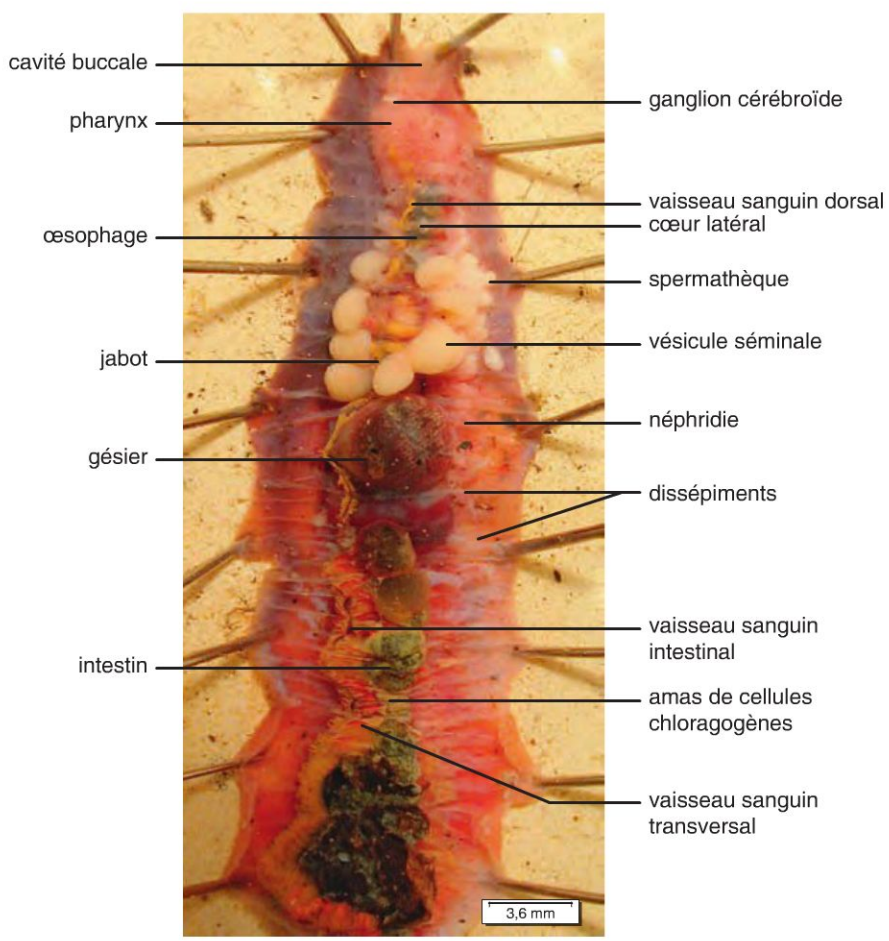


FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation du *Lombric* par la dissection

fiche 7

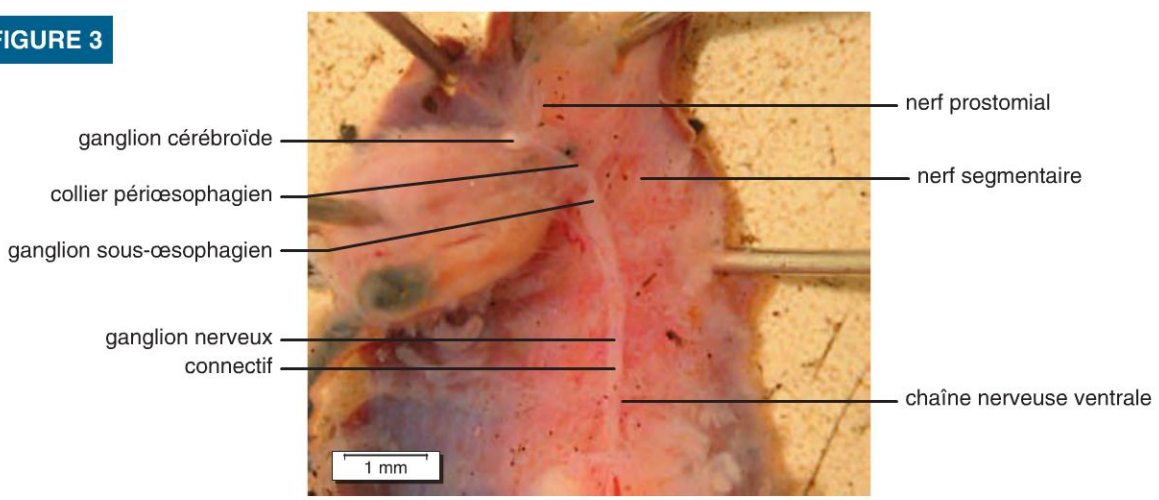
Le *Lombric*, animal fouisseur vivant dans le sol, peut être considéré afin de définir les principaux caractères des organismes du taxon des Annélides.

Figure 1. La morphologie du *Lombric* : un ver segmenté (*vues externes ventrale et dorsale*) Le corps vermiforme présente une annélation externe à l'origine du nom du taxon. Il est divisé en une région antérieure portant la bouche, formée du prostomium (lobe préoral) et du péristomium (premier segment), un tronc composé de segments morphologiquement semblables à l'exception des segments 9 à 15 constituant la région génitale (fiche 80) et des segments 32 à 37 développant le clitellum, une région postérieure portant l'anus et correspondant au pygidium (lobe anal). Chaque segment du tronc est caractérisé par la présence de quatre paires de soies (fiche 51) situées en positions latérale et ventrale. Il porte également deux pores urinaires ventraux.

Figure 2. L'anatomie du *Lombric* : une métamérie et une symétrie bilatérale (*vue dorsale*) La dissection de la région antérieure de l'animal montre que l'annélation externe coïncide avec une segmentation interne de l'organisme : les segments, ou métamères, sont séparés les uns des autres par des cloisons, les dissépiments (paroi postérieure du segment antérieur et paroi antérieure du segment postérieur), et organisés autour d'une cavité remplie de liquide, la cavité cœlomique.
L'anatomie du *Lombric* est caractérisée par la présence d'organes axiaux, s'étendant sur toute la longueur du corps de l'animal (organes des appareils circulatoire et digestif, chaîne nerveuse), d'organes métamériques pairs se répétant dans chaque segment (néphridies, cavités cœlomiques, ganglions nerveux) et d'organes à localisation stricte comme les structures génitales (fiche 80) (testicules, spermiductes et vésicules séminales de l'appareil génital mâle ; ovaires, oviductes et spermathèques de l'appareil femelle ; l'animal est hermaphrodite).
En outre, la disposition des structures corporelles détermine une symétrie bilatérale nette.

Figure 3. L'anatomie du système nerveux du *Lombric* : une chaîne nerveuse ganglionnaire ventrale (*vue dorsale*) Le système nerveux est formé d'une paire de ganglions cérébroïdes parfois désignée par le terme cerveau, dorsale et antérieure, reliée à une chaîne nerveuse ventrale par l'intermédiaire d'un collier périœsophagien. La chaîne nerveuse est une chaîne ganglionnaire métamérisée, caractérisée par la présence d'une paire de ganglions par métamère, des connectifs assurant la liaison des ganglions des métamères successifs.
La position ventrale, sous-intestinale, du système nerveux permet de qualifier les Annélides d'hyponeuriens.

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Les Annélides, des Bilatériens protostomiens lophotrochozoaires

FIGURE 1

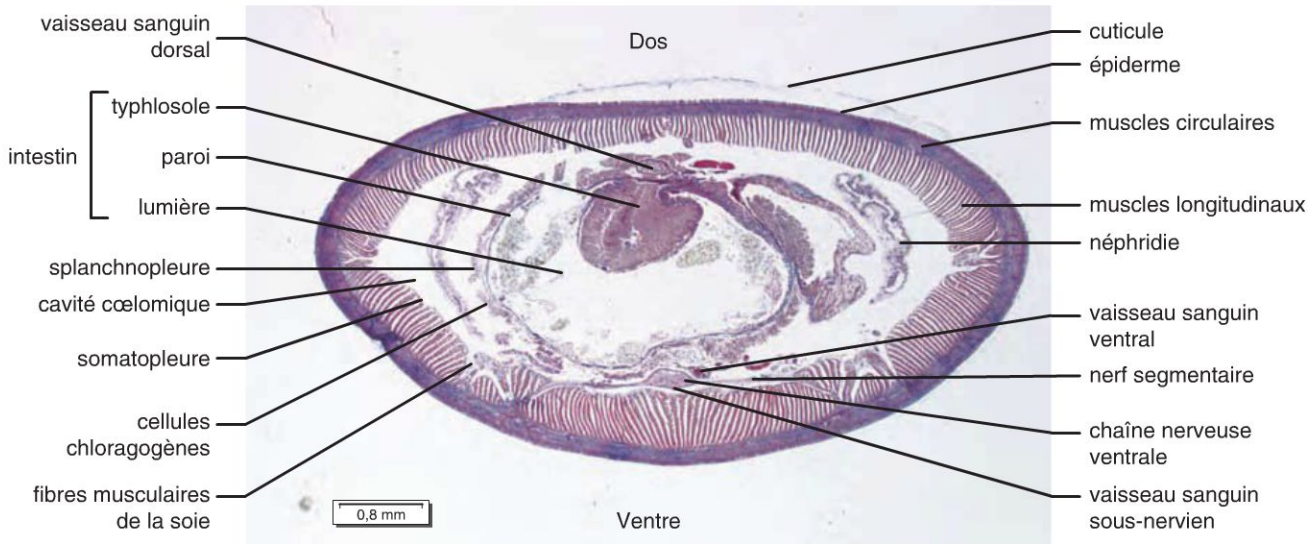
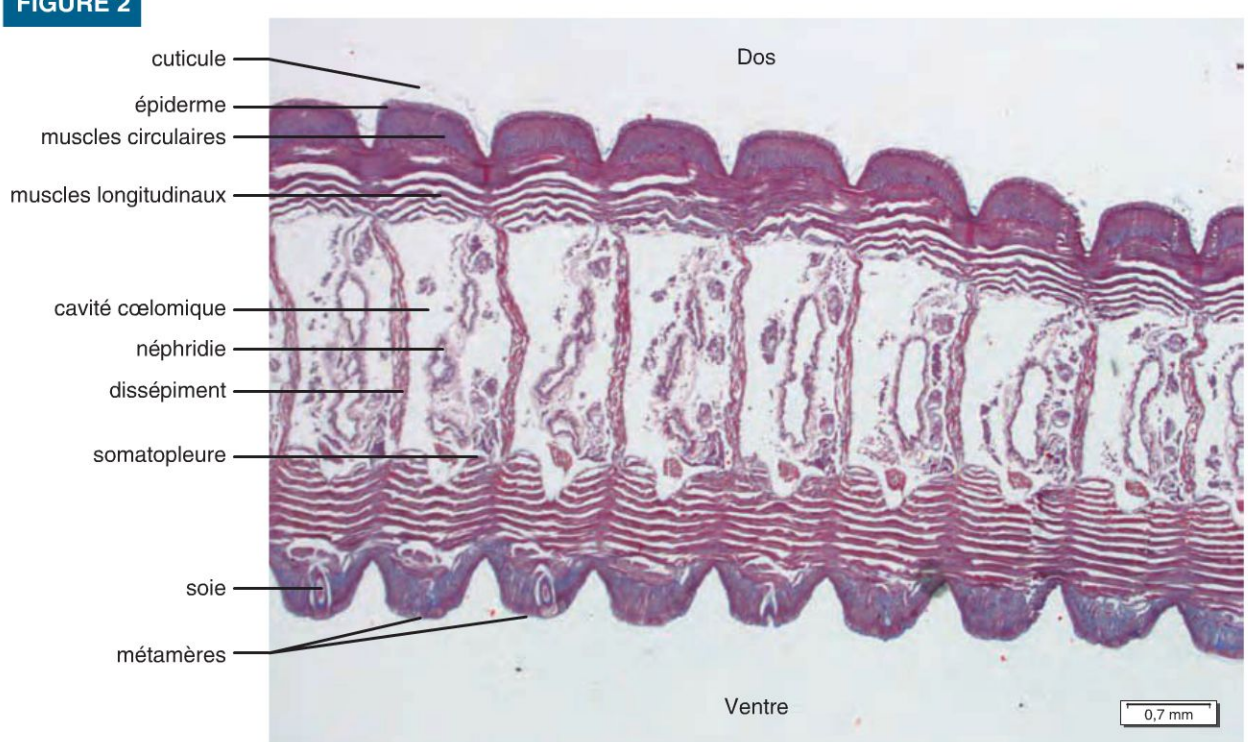


FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation du *Lombric* par l'histologie

fiche 8

Le plan d'organisation du *Lombric* permet d'illustrer quelques caractères majeurs des Annélides.

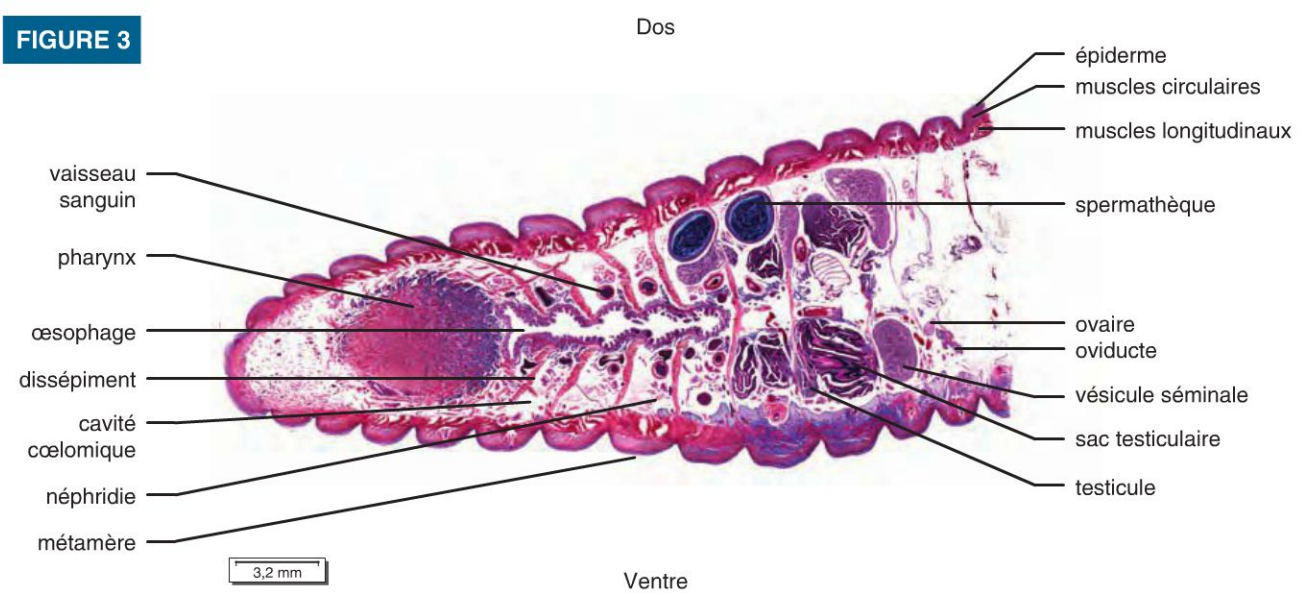
Figure 1. L'anatomie du *Lombric* : des métamères à symétrie bilatérale (*coupe transversale, stéréomicroscope*) La paroi du corps est constituée d'un épiderme simple recouvert d'une fine cuticule anhiste. La musculature est située immédiatement en dessous, représentée par deux couches de fibres musculaires, circulaire et longitudinale. Chaque métamère est organisé autour d'une vaste cavité cœlomique, limitée à l'avant et à l'arrière par des dissépiments, et latéralement par la splanchnopleure accolée au tube digestif et la somatopleure située au contact de la paroi du corps. Il comprend une paire de néphridies (fiche 46), organes excréteurs formés d'un pavillon, le néphrostome, ouvert sur la cavité cœlomique antérieure et d'un tube, le cœlomoducte, débouchant sur l'extérieur par un néphridiopore. L'appareil circulatoire, clos, est composé de deux vaisseaux sanguins longitudinaux principaux, le vaisseau dorsal et le vaisseau ventral, associés à des vaisseaux sanguins transverses métamérisés. En absence d'appareil respiratoire spécialisé, l'animal réalise ses échanges respiratoires par voie transtégumentaire. L'intestin, rectiligne, possède un repli médiodorsal, le typhlosole, associé à de nombreuses cellules chloragogènes à rôles métabolique et excréteur.

Figure 2. L'anatomie du *Lombric* : une organisation métamérique (*coupe longitudinale latérale, stéréomicroscope*) La disposition relative de la musculature et des cavités cœlomiques permet à l'animal de disposer d'un véritable hydrosquelette (fiche 58), impliqué dans sa locomotion. L'organisation du corps en métamères, unités anatomiques répétées le long de l'axe antéropostérieur, apparaît clairement, chacun étant organisé autour d'une cavité cœlomique et délimité à l'avant et à l'arrière par des dissépiments.

Figure 3. L'anatomie de la région antérieure du *Lombric* : une régionalisation antéropostérieure (*coupe longitudinale, stéréomicroscope*) Le prostomium et le pygidium ne comportent pas de cavité cœlomique et ne sont en conséquence pas considérés comme de véritables métamères. Les segments corporels 9 à 15 sont caractérisés par la présence de l'appareil génital (fiche 80). Il est formé d'organes mâles (testicules et sacs testiculaires, spermiductes, vésicules séminales) et femelles (ovaires, oviductes, spermathèques). Possédant à la fois les organes mâles et femelles, le *Lombric* est hermaphrodite.

Les Annélides sont des animaux possédant des organes individualisés, organisés en appareils ou en systèmes, constitués par des cellules différenciées. Leur plan d'organisation est ainsi plus complexe que celui des Porifères et des Cnidaires. Cependant, ils ne présentent pas d'appareil respiratoire spécialisé. Leur corps est divisé en métamères, véritables unités structurales et fonctionnelles autour desquelles est organisée leur physiologie. Chaque métamère contient une cavité cœlomique, dont l'ensemble constitue le cœlome. Sa présence est à l'origine du terme cœlomate employé pour qualifier les Annélides.

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

1 Les Annélides, des Bilatériens protostomiens lophotrochozoaires

FIGURE 1

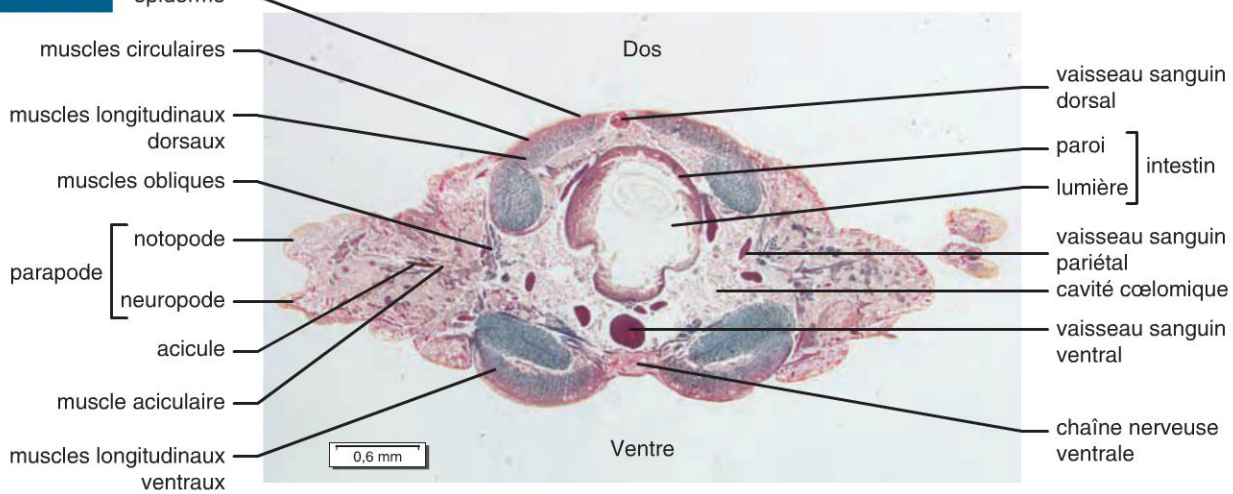


FIGURE 2

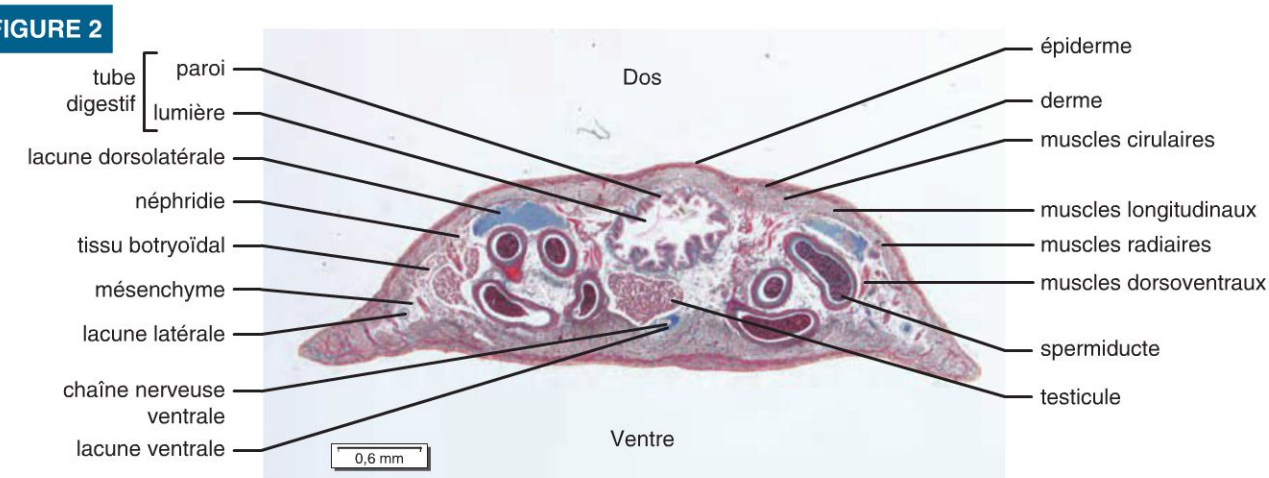


FIGURE 3

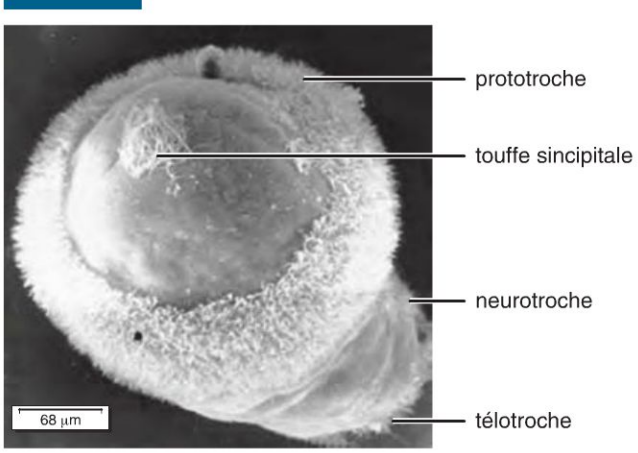
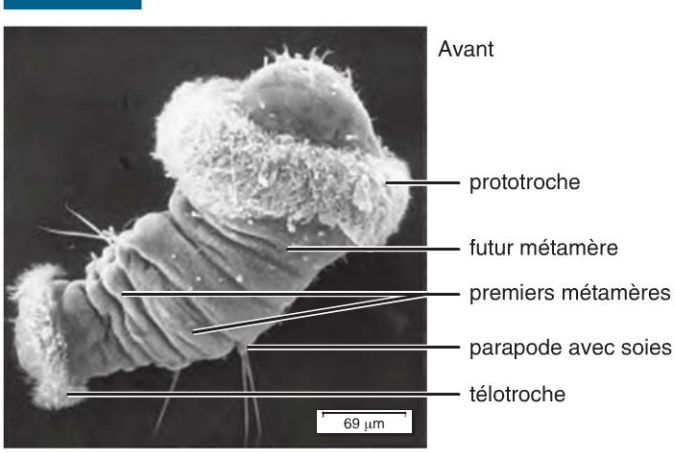


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Aperçu de la diversité et de la reproduction des Annélides

fiche 9

Diversité des Annélides

Les Annélides sont représentés par des animaux de milieux et modes de vie variés : marins et libres (*Néréis*, *Arénicole*), d'eau douce et parasites (*Sangsue*), terrestres et libres (*Lombric*). Ce taxon compte deux groupes principaux : les Polychètes et les Clitellates, ces derniers regroupant les Achètes et les Oligochètes examinés à travers l'exemple du *Lombric*.

Figure 1. L'anatomie de la *Néréis* : des métamères à symétrie bilatérale portant des parapodes et de nombreuses soies (*coupe transversale, stéréomicroscope*) Polychète mobile, la *Néréis* possède une tête, portant des structures sensorielles, et un tronc, formé de métamères similaires munis d'une paire de parapodes latéraux impliqués dans la locomotion. Chaque parapode est composé d'une rame dorsale, le notopode, d'une rame ventrale, le neuropode, et porte des soies. Elle présente une métamérie nette, un appareil circulatoire clos, un tube digestif simple, un appareil excréteur néphridien et un système nerveux composé d'un cerveau et d'une chaîne ganglionnaire ventrale. Ses gonades ne sont pas des structures permanentes. Chez les Polychètes, les cavités cœlomiques sont le plus souvent paires et s'affrontent dorsalement et ventralement au niveau de deux mésentères.

Figure 2. L'anatomie de la *Sangsue* : des métamères comblés de mésenchyme, à symétrie bilatérale et dépourvus de soies (*coupe transversale, stéréomicroscope*) Achète dépourvue de parapodes et de soies, la *Sangsue* est caractérisée par la présence de ventouses en relation avec son mode de vie parasitaire. L'annélation superficielle du corps ne coïncide pas avec la métamérie. L'épiderme surmonte un derme conjonctif reposant sur des muscles circulaires et longitudinaux, auxquels s'ajoutent des muscles obliques. Les cavités cœlomiques ne sont pas visibles : dissociées lors du développement, elles sont comblées par la prolifération des cellules de leurs parois, à l'origine d'un mésenchyme de remplissage contenant un tissu botryoïdal à fonction excrétrice. L'appareil circulatoire est composé d'un ensemble de lacunes, vestiges du cœlome, et d'un réseau de capillaires sanguins très fins. Seules quelques structures conservent une disposition répétitive, témoignant de la métamérie initiale, notamment l'appareil excréteur, formé de néphridies aveugles associées à l'appareil circulatoire, et le système nerveux.

Les Annélides se reproduisent par voie sexuée, et sont hermaphrodites (Clitellates) ou gonochoriques (Polychètes). Au cours du développement, la segmentation est réalisée selon le mode spiral. Lors de la gastrulation, trois feuillets sont mis en place : un endoderme interne, un ectoderme externe et un mésoderme intermédiaire. Les Annélides sont en conséquence des organismes triploblastiques. La formation du troisième feuillet embryonnaire est accompagnée de l'apparition de la symétrie bilatérale. Le feuillet mésodermique contribue au développement de diverses structures (musculature, néphridies) et des cavités cœlomiques. L'éclosion de l'œuf libère, chez les espèces à développement indirect, une larve caractéristique du taxon, la larve trochophore.

Figures 3. et 4. Les larves trochophore et métatrochophore des Annélides (*microscope électronique à balayage*) La larve trochophore possède un faisceau apical de flagelles inséré sur une plaque sincipitale, ainsi que plusieurs couronnes et rangées de cils locomoteurs. Son système nerveux est constitué d'un ganglion apical, relié à un anneau localisé sous la prototroche. Elle présente un tube digestif recourbé et des protonéphridies excrétrices. Non métamérisée, cette larve possède deux massifs mésodermiques pleins de part et d'autre du tube digestif. Leur croissance est à l'origine de deux bandelettes mésodermiques donnant naissance aux cavités cœlomiques par fragmentation et creusement (processus de schizocœlie). L'apparition de la métamérie coïncide avec le passage au stade métatrochophore.
Polychètes et Oligochètes ont parallèlement la capacité de se reproduire par voie asexuée et sont capables d'une importante régénération.

Les Annélides constituent un groupe d'Eumétazoaires bilatériens protostomiens. Ce sont des Lophotrochozoaires possédant une larve trochophore.
Dans ce taxon, la métamérie accompagne généralement la formation du cœlome et s'exprime sous une forme homonome dans laquelle le corps n'est pas régionalisé, ou hétéronome avec une régionalisation du corps et des spécialisations fonctionnelles, notamment du fait de la céphalisation.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 2

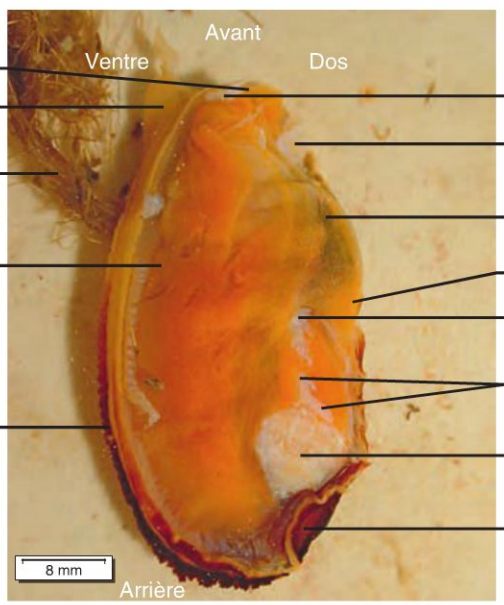
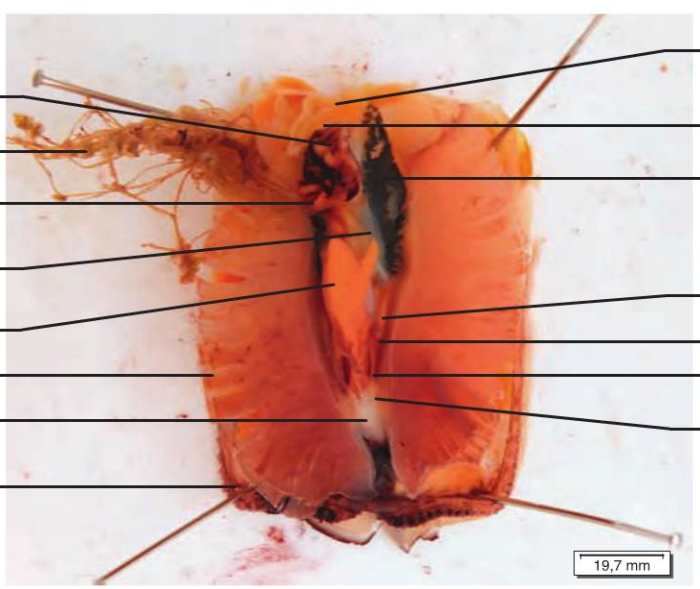


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de la *Moule* par la dissection

fiche 10

À l'aide de l'exemple de la *Moule*, les caractéristiques majeures des représentants du taxon des Eumollusques peuvent être dégagées.

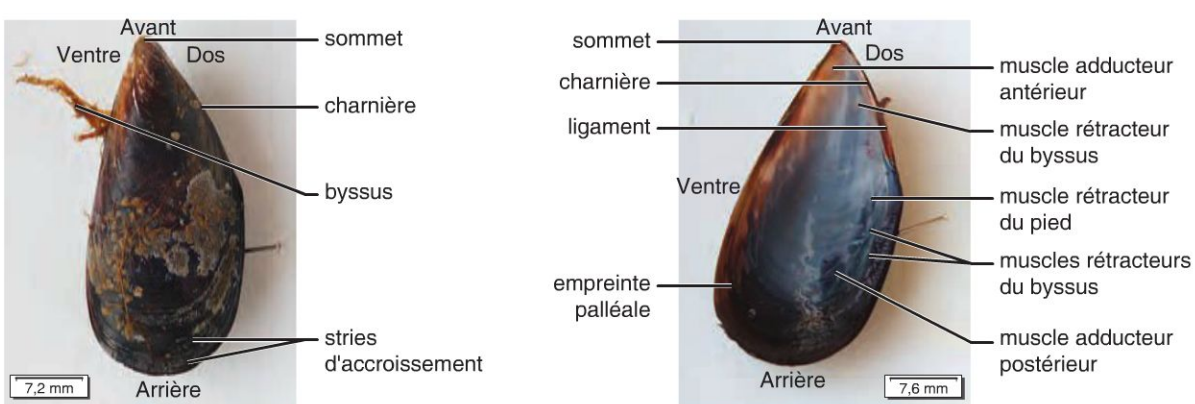
Figure 1. La coquille de la *Moule* : deux valves, gauche et droite, articulées (*vues externe de la valve gauche et interne de la valve droite*) Le corps est protégé par une coquille dure formée de deux valves, gauche et droite, articulées par une charnière, présentant des stries d'accroissement et formant un squelette (fiche 51) externe.

Figure 2. La morphologie de la *Moule* : une masse viscérale enveloppée par un manteau (*vue externe*) L'animal apparaît enveloppé par deux replis latéraux du tégument, constituant le manteau. Ses bords partiellement soudés délimitent une boutonnière postérieure. Des muscles reliant l'animal à la coquille sont visibles : muscles adducteurs responsables de la fermeture de la coquille et muscles rétracteurs impliqués dans les mouvements du pied ou du byssus. Par transparence, l'hépatopancréas, l'intestin et le cœur peuvent être observés.

Figure 3. L'anatomie de la *Moule* : une cavité palléale abritant des branchies en lamelles et une masse viscérale, à symétrie bilatérale (*vue ventrale*) Le manteau délimite une vaste cavité palléale dans laquelle pendent deux branchies lamellaires formées chacune de deux feuillets repliés (fiche 40). Les orifices excréteurs, génitaux et l'anus y débouchent. Un pied volumineux, musculeux, est inséré dans la région moyenne de l'animal. Des muscles rétracteurs et protracteurs assurent sa mise en mouvement et à sa base, une glande byssogène réalise la sécrétion de filaments constituant le byssus, grâce auxquels la *Moule* se fixe à son substrat. La bosse de Polichinelle est essentiellement constituée par les gonades, qui peuvent s'étendre et envahir le manteau à maturité. Des gonoductes acheminent les produits génitaux vers la cavité palléale. Les quatre palpes labiaux entourant la bouche sont également visibles, ainsi que l'hépatopancréas, organe digestif, et les reins ou organes de Bojanus. Le système nerveux est représenté par trois paires de ganglions : les ganglions cérébroïdes antérieurs, les ganglions pédieux au niveau du pied et les ganglions viscéraux postérieurs. Les deux ganglions cérébroïdes d'une part et les deux ganglions viscéraux d'autre part sont réunis par des commissures, alors que des connectifs relient entre eux d'un même côté les ganglions cérébroïdes et les ganglions pédieux, les ganglions cérébroïdes et les ganglions viscéraux.

L'organisation générale de la *Moule* illustre plusieurs particularités des Eumollusques : existence d'un manteau délimitant une cavité palléale dans laquelle sont localisées les branchies et où débouchent les orifices excréteurs, génitaux ainsi que l'anus, présence d'une coquille élaborée par le manteau et jouant le rôle de squelette externe, développement d'un pied musculeux et regroupement de la plupart des organes au sein d'une masse viscérale.
Toutefois, certains aspects de sa morphologie et de son anatomie sont à mettre en relation avec son mode de vie, fixé, et son appartenance au groupe des Bivalves ou Lamellibranches. Il s'agit de la forme de sa coquille composée de deux valves, de l'absence de structures céphaliques, de l'organisation de ses branchies en lamelles ainsi que de la configuration de son système nerveux.

FIGURE 1



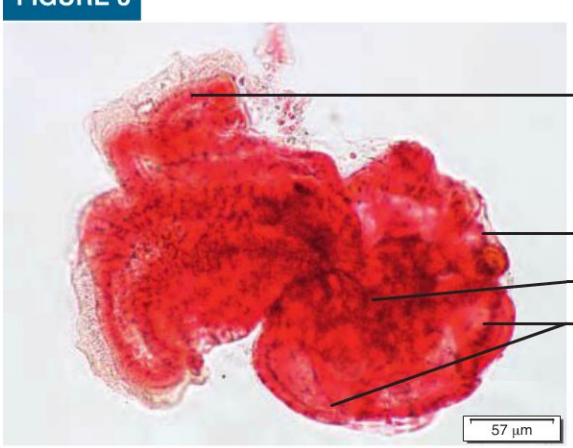
Copyright © 2015 Dunod.

Les Eumollusques, des Bilatériens protostomiens lophotrochozoaires

FIGURE 1

FIGURE 2

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de la *Moule* par l'histologie ; aperçu de la diversité des Eumollusques

fiche 11

Le plan d'organisation de la *Moule* permet d'illustrer quelques caractères majeurs des Eumollusques.

Figure 1. L'anatomie de la *Moule* : une cavité palléale et une masse viscérale à symétrie bilatérale (*coupe transversale, stéréomicroscope*) L'appareil circulatoire, de type ouvert, est constitué d'un cœur dorsal comprenant deux oreillettes et un ventricule, et enveloppé dans un péricarde. Il propulse l'hémolymphe dans deux artères (aortes antérieure et postérieure). Après avoir irrigué les organes, elle est récupérée par un système de sinus dépourvus de parois propres, est filtrée par les reins puis regagne le cœur.
L'appareil digestif comporte un œsophage court, un estomac globuleux, un intestin circonvolué et un rectum rectiligne qui traverse le ventricule cardiaque. L'ensemble est complété par un cæcum gastrique contenant un stylet cristallin qui joue un rôle chimique et mécanique dans la digestion, et un volumineux hépatopancréas, à vocations digestive et absorbante, relié à l'estomac par des canalicules. Les cavités génitale, rénale et péricardique sont considérées comme des dérivés du cœlome.

La *Moule* présente typiquement une symétrie bilatérale et des caractères d'Eumétazoaire bilatérien. Son cœlome n'est représenté que sous forme de petites cavités et elle n'est pas métamérisée, ce qui la distingue nettement des Annélides.

Diversité des Eumollusques

Les Eumollusques forment un taxon dont les représentants mènent une vie libre en milieu marin (*Seiche*, *Bigorneau*), en eau douce (*Limnée*) ou en milieu terrestre (*Escargot*, *Limace*). D'autres adoptent cependant une vie fixée (*Moule*) ou sont parasites.
Les Eumollusques regroupent les Bivalves ou Lamellibranches illustrés par l'exemple de la *Moule*, les Gastéropodes représentés par l'*Escargot*, dont le pied forme une sole de reptation surmontée par le tube digestif et dont la masse viscérale est spiralée, ainsi que les Céphalopodes comprenant la *Seiche*, caractérisés notamment par un pied transformé en bras portés par la tête et un comportement complexe.
L'étude comparée de diverses espèces permet de définir précisément le plan d'organisation des Eumollusques : ce sont des animaux à corps mou, constitués d'une tête à rôles sensoriel et alimentaire (absente chez les Bivalves), d'un pied musculeux à vocation locomotrice, d'une masse viscérale enveloppée d'un manteau sécrétant une coquille (parfois internalisée ou réduite). Entre masse viscérale et manteau est ménagée une cavité palléale dans laquelle sont situées les branchies et où débouchent les conduits excréteurs, génitaux et l'anus. Le cœlome est représenté par trois cavités, entourant le cœur (cardiocœle), les gonades (gonocœle) et les reins (néphrocœle). L'appareil digestif de ces animaux est typiquement équipé d'une radula (fiche 38), langue râpeuse associée à la bouche et impliquée dans la prise alimentaire (absente chez la *Moule* en relation avec l'alimentation par suspensivorie). Leur système nerveux est formé de ganglions cérébroïdes dorsaux et de ganglions pédieux, palléaux et viscéraux ventraux. Cette disposition permet de les qualifier d'hyponeuriens. La présence de connectifs cérébropédieux, cérébropalléaux et palléopédieux définit des triangles latéraux caractéristiques, de part et d'autre du tube digestif.

Figures 2. et 3. Jeune embryon *d'Huître* et larve véligère de Bivalve : une segmentation selon le mode spiral et une forme larvaire spécifique (*montage* in toto*, microscope photonique*) La reproduction des Eumollusques, qu'ils soient gonochoriques ou hermaphrodites, est principalement sexuée. Le zygote subit une segmentation spirale et, au terme du développement embryonnaire, l'œuf libère une larve véligère caractéristique du taxon. Apparentée à la larve trochophore des Annélides, elle possède un velum cilié ainsi qu'une ébauche de coquille. Après une période de vie planctonique, la larve se pose sur un substrat.
En relation avec le milieu de vie, certains Eumollusques présentent un développement direct : un jeune individu, ressemblant à l'adulte, est libéré à l'éclosion. L'*Escargot* en est un exemple.

Annélides et Eumollusques sont des représentants des Eumétazoaires bilatériens protostomiens. Ils appartiennent tous deux au groupe des Lophotrochozoaires.

Copyright © 2015 Dunod.

Les Plathelminthes, des Bilatériens protostomiens lophotrochozoaires

FIGURE 1

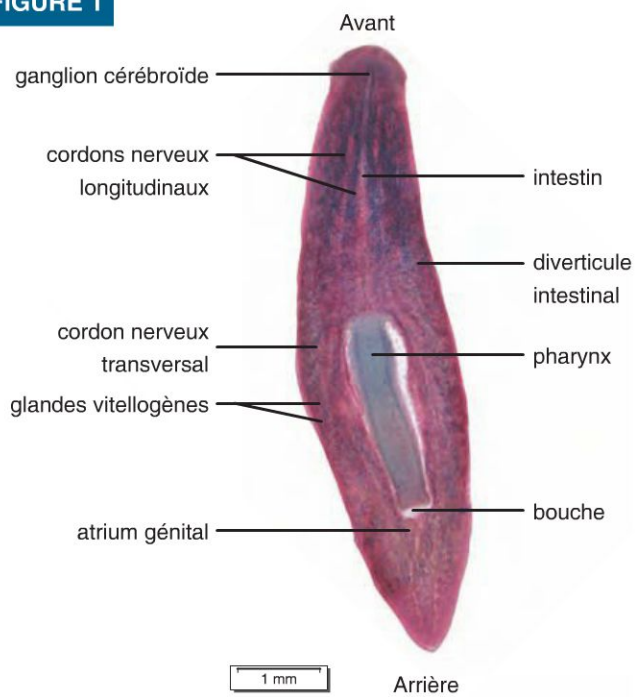


FIGURE 3

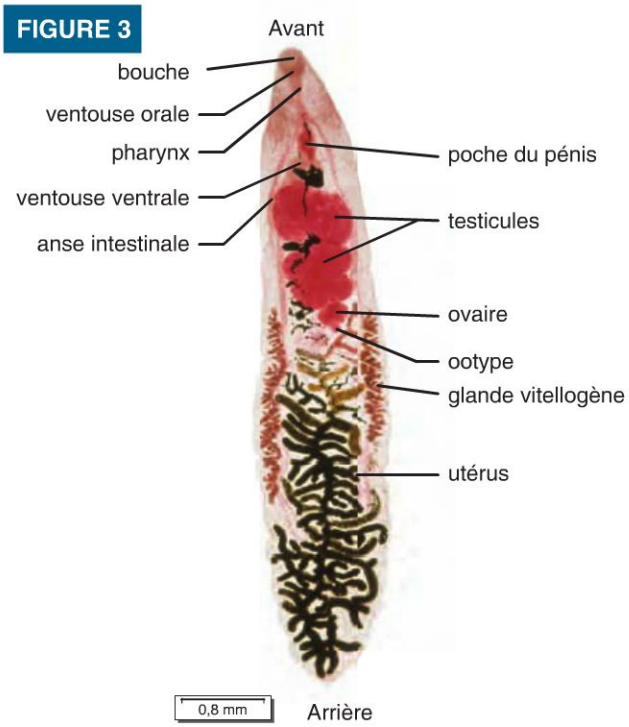


FIGURE 2

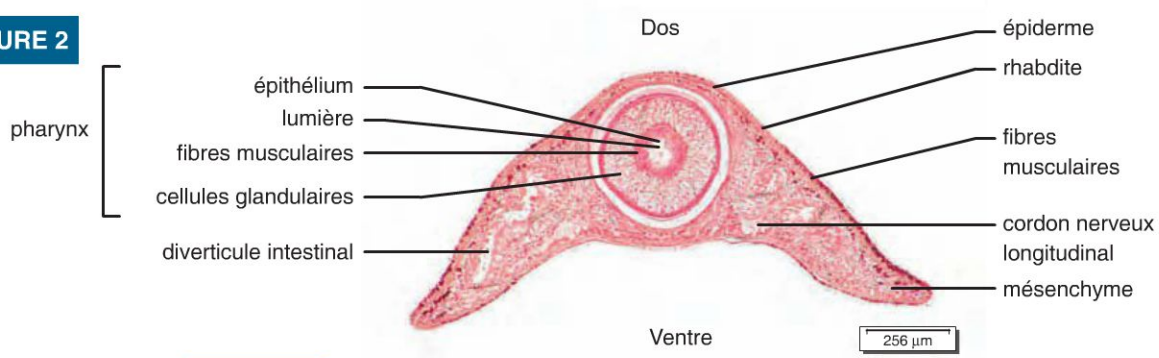
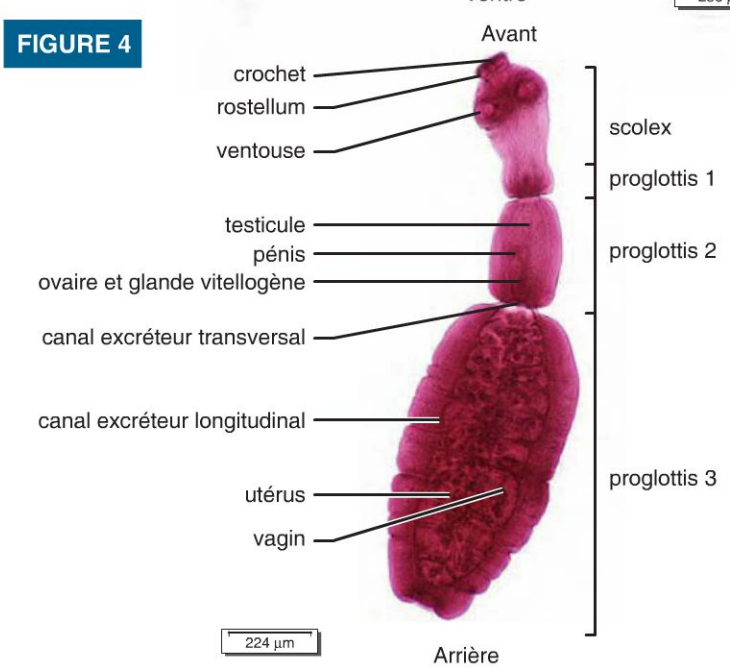


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de la *Planaire* ; aperçu de la diversité des Platheminthes

fiche 12

L'étude de la *Planaire* permet de dégager les caractères principaux des Plathelminthes.

Figure 1. L'organisation de la *Planaire* : un ver plat à symétrie bilatérale possédant un unique orifice digestif (*montage* in toto, *stéréomicroscope*) Le corps vermiforme est aplati dorsoventralement et recouvert de cils. Il présente une bouche antérieure ou ventrale, unique orifice du tube digestif. Une région antérieure, caractérisée par la présence d'organes sensoriels et de ganglions cérébroïdes, et une région postérieure ou caudale sont définies, de même qu'une face ventrale et une face dorsale. L'animal montre une symétrie bilatérale.

Figure 2. L'anatomie de la *Planaire* : une symétrie bilatérale et un mésenchyme de remplissage (*coupe transversale, microscope photonique*) Un épiderme simple, constitué de cellules ciliées, glandulaires, sensorielles et à rhabdites, protège le corps. Il surmonte trois couches de fibres musculaires. Les organes sont entourés d'un mésenchyme composé de cellules étoilées anastomosées. Un liquide interstitiel circule dans ses lacunes ainsi que quelques cellules amiboïdes. La disposition de ces structures confère à l'animal un hydrosquelette. L'appareil digestif comporte un unique orifice faisant office de bouche et d'anus. Il est constitué d'un pharynx débouchant directement dans un intestin comportant plusieurs branches. L'appareil génital est composé d'organes mâles (testicules, spermiductes, vésicules séminales, pénis) et femelles (ovaires, oviductes, utérus, glandes vitellogènes) en relation avec un atrium génital. L'appareil excréteur est représenté par des protonéphridies (fiche 46) ouvertes sur deux canaux latéraux en relation avec l'extérieur par des néphridiopores. Le système nerveux est formé de ganglions cérébroïdes et de cordons longitudinaux ventraux, complété par des organes sensoriels (statocystes, ocelles - fiche 60). La localisation ventrale du système nerveux fait de ces animaux des hyponeuriens.

La *Planaire* possède des organes composant des appareils et des systèmes ; elle est cependant dépourvue d'appareils respiratoire et circulatoire. Hermaphrodite, elle réalise une fécondation croisée dans le cadre de sa reproduction sexuée. Les spermatozoïdes sont échangés lors d'un accouplement et après fécondation, des cocons contenant les embryons et des cellules vitellines sont émis dans le milieu. Lors du développement embryonnaire, trois feuillets et la symétrie bilatérale sont mis en place. Le mésoderme est impliqué en particulier dans la formation du mésenchyme comblant les espaces entre les organes. À aucun moment, il n'est creusé de cavités, d'où la qualification d'acœlomates employée pour décrire ces organismes dépourvus de cœlome. À la lumière des données de phylogénie moléculaire, l'absence de cœlome résulterait d'une régression. Certains Plathelminthes sont capables de reproduction asexuée, corrélée à un important pouvoir de régénération impliquant des néoblastes, cellules spécifiques.

Diversité des Plathelminthes

Le taxon des Plathelminthes regroupe des vers libres comme les *Planaires* marines, vivant en eau douce ou terrestres, appartenant au groupe des Turbellariés. De nombreuses espèces sont parasites, classées au sein des Trématodes ou des Cestodes. Leur développement implique une segmentation spirale et une larve de Müller apparentée à la larve trochophore chez les espèces à développement indirect.

Figure 3. L'organisation de la *Petite Douve* : une adaptation à la vie parasitaire (*montage* in toto, *stéréomicroscope*) Trématode parasite des canaux biliaires du *Mouton*, la *Petite Douve* a une forme foliacée et possède deux ventouses assurant sa fixation aux tissus de l'hôte. Dépourvue de cils, elle présente en revanche des appareils digestif, excréteur et génital ainsi qu'un système nerveux bâtis sur le même plan que ceux des *Planaires*.

Figure 4. L'organisation du *Ténia échinocoque* : une simplification liée à la vie parasitaire (*montage* in toto, *microscope photonique*) Cestode parasite du *Chien*, le *Ténia échinocoque* possède un scolex antérieur, portant des organes de fixation (ventouses, crochets) et contenant une masse ganglionnaire nerveuse. Trois segments ou proglottis lui font suite. Un appareil excréteur représenté par des canaux transversaux et longitudinaux est présent, ainsi que des cordons nerveux. L'appareil génital est très développé ; l'animal est par contre dépourvu d'appareil digestif et se nourrit par osmotrophie.

Les Plathelminthes sont des représentants des Eumétazoaires bilatériens. Il s'agit de Protostomiens appartenant à l'ensemble des Lophotrochozoaires.

Copyright © 2015 Dunod.

Les Arthropodes, des Bilatériens protostomiens ecdysozoaires

FIGURE 1

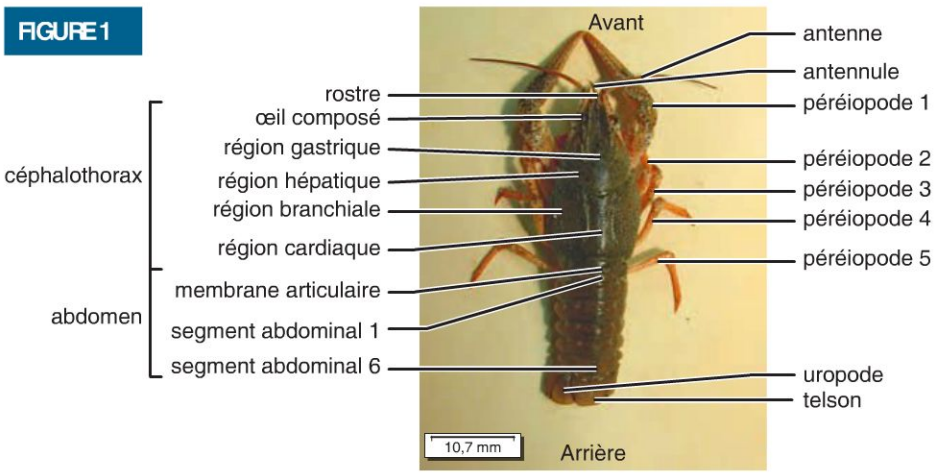
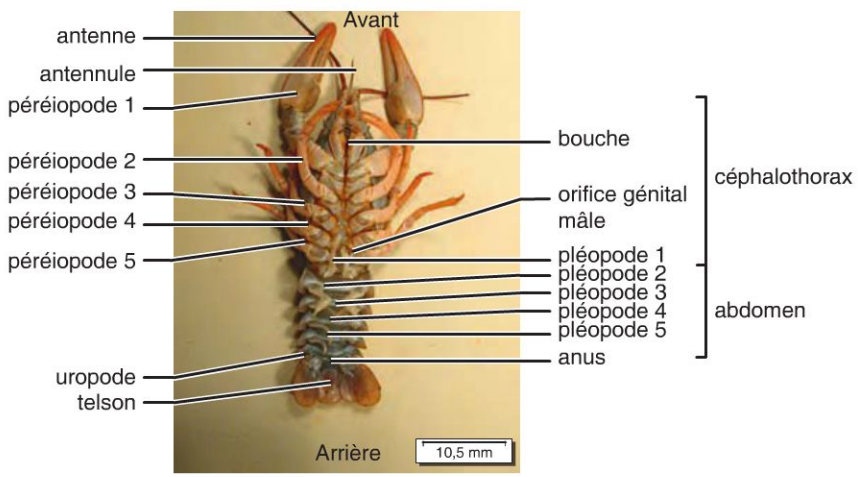


FIGURE 2



Les exemples de l'*Écrevisse* et du *Criquet* fournissent l'opportunité de décrire les particularités des Arthropodes.

Figure 1. La morphologie de l'*Écrevisse* : un corps régionalisé, recouvert d'une cuticule articulée et à symétrie bilatérale (*vue externe par la face dorsale*) Une cuticule rigide et calcifiée (fiche 51), véritable squelette externe, recouvre le corps et les appendices, les mouvements étant possibles grâce à des membranes articulaires souples. Dans la région antérieure, la cuticule est continue, elle définit un céphalothorax ; dans la région postérieure, elle est formée de six pièces articulées entre elles, qui reflètent une disposition métamérique. L'organisation montre en outre une symétrie bilatérale.

Figure 2. La morphologie de l'*Écrevisse* : un corps segmenté, portant des appendices et à symétrie bilatérale (*vue externe par la face ventrale*) Le corps est divisé en trois parties : la tête (céphalon), le thorax (péréion) et l'abdomen (pléon). Il est terminé par un acron antérieur et un telson postérieur portant l'anus. La bouche, les organes sensoriels (yeux composés pédonculés, antennules, antennes) et les appendices impliqués dans la prise de nourriture (mandibules, maxillules, maxilles) sont localisés au niveau de la tête. D'autres appendices masticateurs (pattes-mâchoires ou maxillipèdes 1, 2 et 3) ainsi que les cinq paires de péréiopodes préhensiles ou locomoteurs sont portés par le péréion, et cinq paires de pléopodes sont situées sur le pléon.

L'*Écrevisse* est gonochorique. Chez le mâle, les orifices génitaux sont localisés à la base de la cinquième paire de pattes thoracique et les deux premières paires de pattes abdominales sont plus développées que les autres. Chez la femelle, les orifices génitaux sont situés à la base de la troisième paire de pattes thoracique et la première paire de pattes abdominale est atrophiée.

Copyright © 2015 Dunod.

Figure 3. L'anatomie de l'*Écrevisse* : des appareils spécialisés dans la respiration, la circulation, l'alimentation, l'excrétion et la reproduction (*vue dorsale*) L'appareil respiratoire est constitué par des branchies (fiche 40) localisées dans des chambres branchiales thoraciques latérales délimitées par la paroi du corps et une expansion latérale de la cuticule, le branchiostégite.
L'appareil circulatoire, ouvert, est composé d'un cœur dorsal d'où partent diverses artères (dorsales, latérales et ventrales) se capillarisant et débouchant dans des lacunes à parois plus ou moins individualisées. Le liquide circulant, l'hémolymphe, baigne les organes, gagne les branchies avant de revenir au cœur dans lequel il entre grâce à des orifices, les ostioles.
L'appareil digestif est formé d'un court œsophage, suivi d'un estomac contenant un moulinet gastrique (ensemble de pièces dures à vocation broyeuse) et muni d'un cæcum dorsal. Il est relié par deux canaux à l'hépatopancréas, organe à vocations digestive et absorbante formé de multiples digitations, puis se jette dans l'intestin rectiligne qui aboutit à l'anus.
L'appareil génital est représenté par une gonade trilobée d'où partent deux canaux évacuateurs (spermiductes contournés chez le mâle, oviductes droits chez la femelle) débouchant sur les orifices génitaux.
L'excrétion est réalisée notamment par les glandes vertes, localisées à la base des antennes et formées d'un tube pelotonné associé à une petite vessie transparente.

Figure 4. L'anatomie du système nerveux de l'*Écrevisse* : des ganglions nerveux antérieurs et une chaîne nerveuse ganglionnaire ventrale (*vue dorsale*) Dans la région antérieure, le système nerveux comprend deux ganglions cérébroïdes situés sur le tube digestif, reliés par un collier périœsophagien à deux ganglions sous-œsophagiens. Leur fait suite une chaîne nerveuse ventrale composée de deux ganglions par métamère (soit cinq paires pour le thorax et six paires pour l'abdomen), associés par l'intermédiaire de connectifs. Cette disposition permet de qualifier l'*Écrevisse* d'animal hyponeurien.

FIGURE 3

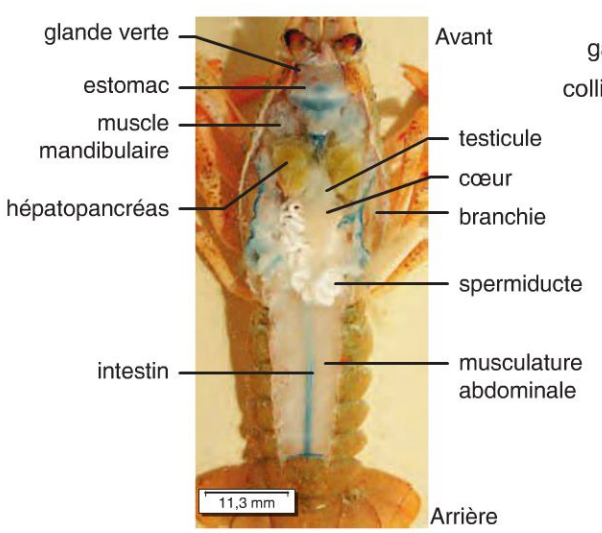
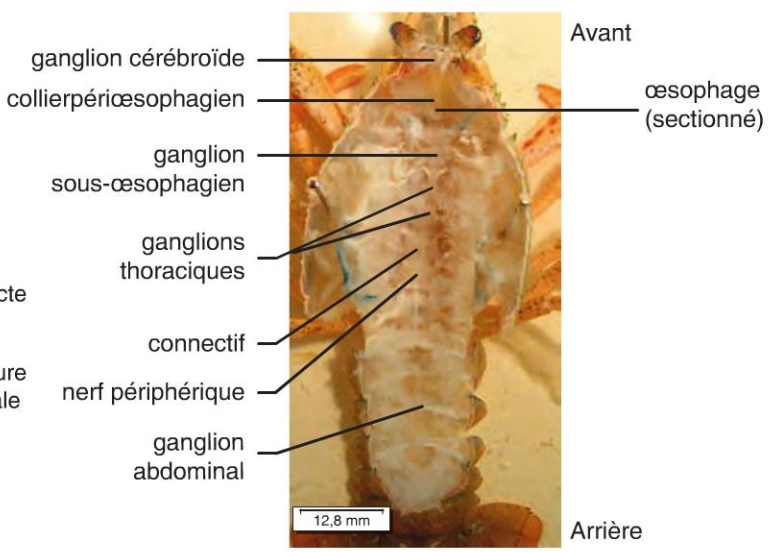


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

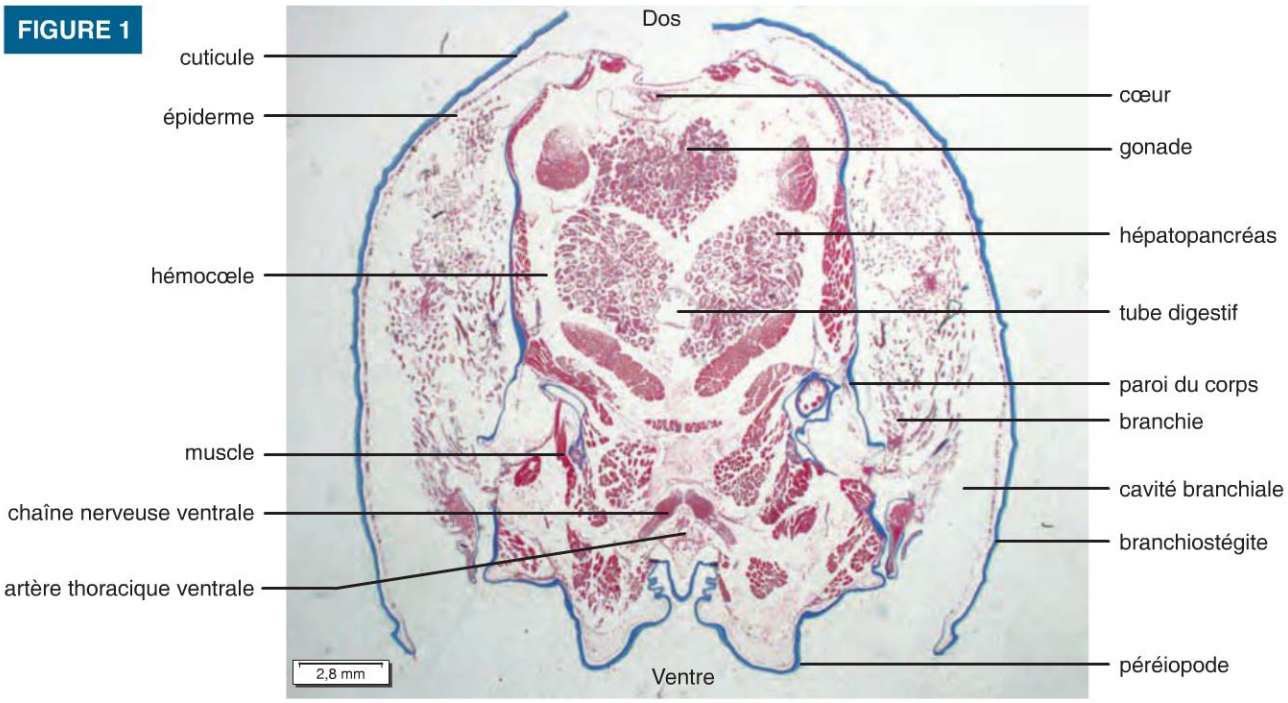
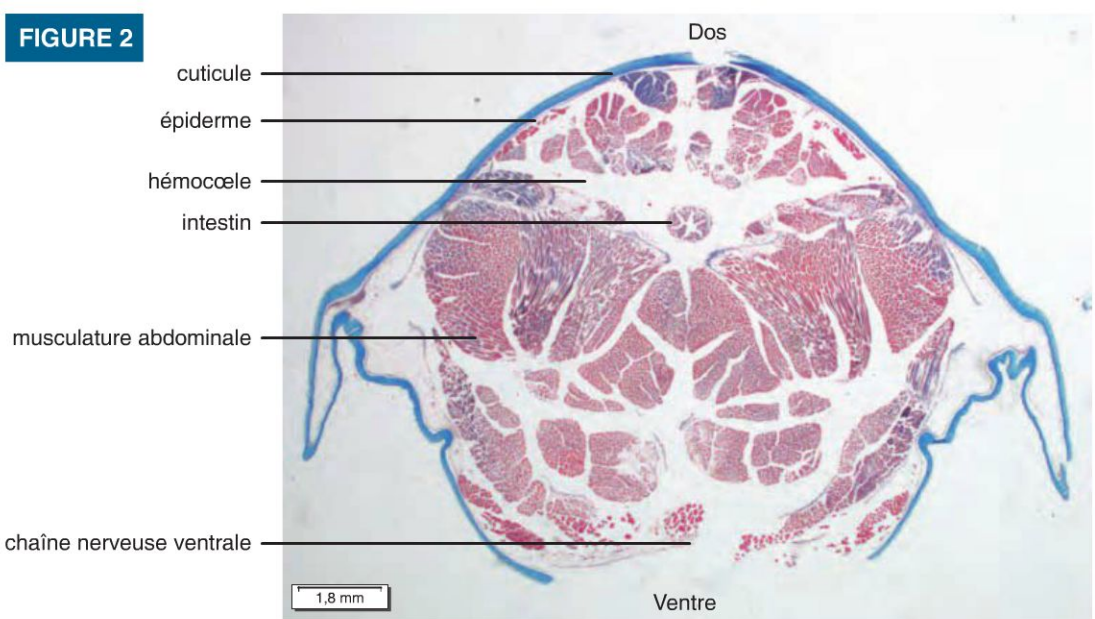


FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de l'*Écrevisse* par l'histologie ; la reproduction des Pancrustacés

fiche 14

L'*Écrevisse* permet d'illustrer l'anatomie des Arthropodes.

Figures 1. et 2. L'anatomie du thorax et de l'abdomen de l'*Écrevisse* : des tagmes à symétrie bilatérale, entourés d'une cuticule et contenant un hémocœle (*coupes transversales, stéréomicroscope*) La cuticule (fiche 51), constituée de plusieurs couches, surmonte un épiderme simple, l'ensemble formant la paroi du corps. Elle délimite une cavité interne, l'hémocœle, dans laquelle baignent les organes. Remplie d'hémolymphe, elle résulte de la désagrégation des cavités cœlomiques au cours du développement et de leur fusion avec les lacunes hémolymphatiques. L'appareil circulatoire occupe une position dorsale par rapport au tube digestif alors que le système nerveux est localisé ventralement. La disposition des organes détermine une symétrie bilatérale.

L'*Écrevisse* possède un plan d'organisation d'Eumétazoaire bilatérien. Les cavités cœlomiques disparaissent au cours de son développement mais quelques vestiges demeurent identifiables, telles les glandes vertes excrétrices. Elle présente une symétrie bilatérale et son corps est divisé en métamères (à l'exception de l'acron et du telson qui n'en sont pas). Toutefois, la métamérie de l'*Écrevisse* est profondément altérée : des régions, appelées tagmes (tête, péréion, pléon), sont différenciées, acquérant une spécialisation fonctionnelle. Cette métamérie hétéronome est en particulier due au processus de céphalisation qui implique la fusion des métamères céphaliques, le déplacement de la bouche vers l'arrière et la condensation du système nerveux antérieur (cérébralisation). Pour les autres régions, la disposition des appendices et l'organisation du système nerveux conservent un caractère métamérisé alors qu'il disparaît pour les organes excréteurs et une partie de la musculature. De par la présence de mandibules et d'antennes, l'*Écrevisse* est classée au sein du groupe des Mandibulates ou Antennates. Animal aquatique à respiration branchiale, elle possède deux paires d'antennes, une paire de mandibules, des organes excréteurs d'origine cœlomique, une cuticule minéralisée, caractères qu'elle partage avec plusieurs groupes de Pancrustacés.

Ces organismes se reproduisent par voie sexuée, certaines espèces réalisant parallèlement une parthénogenèse. Les sexes sont souvent séparés, comme chez l'*Écrevisse*, mais il existe des espèces hermaphrodites comme la *Balane*. Chez les espèces aquatiques, l'œuf issu de la fécondation donne généralement naissance à une larve spécifique appelée nauplius. Selon les espèces, diverses formes larvaires se succèdent. Le développement est parfois condensé voire direct comme chez l'*Écrevisse*, l'œuf libérant un individu juvénile très semblable à l'adulte.

Figures 3. et 4. La *Daphnie* : une espèce produisant des œufs par parthénogenèse et par fécondation (*montages* in toto, *microscope photonique*) Selon les conditions du milieu, ce Branchiopode produit des œufs parthénogénétiques ou de durée. Ces derniers, issus d'une fécondation, passent la mauvaise saison avant de se développer.

FIGURE 3

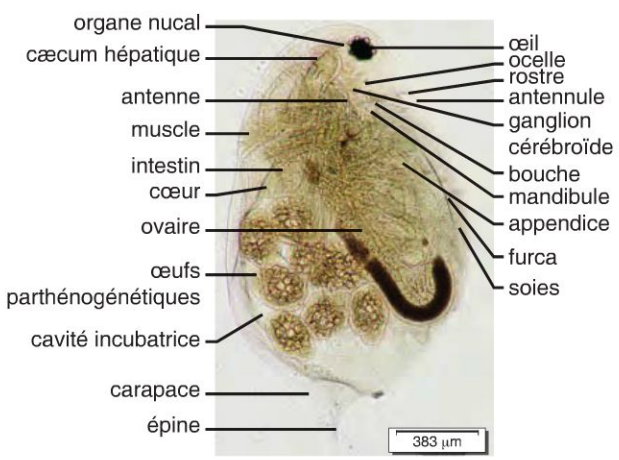
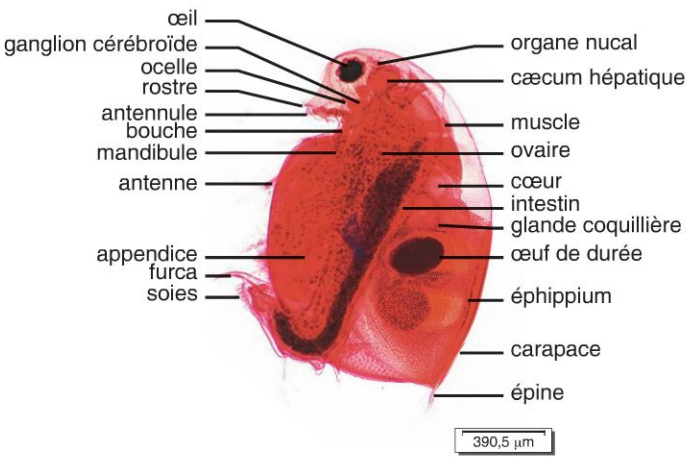


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

1 Les Arthropodes, des Bilatériens protostomiens ecdysozoaires

FIGURE 1

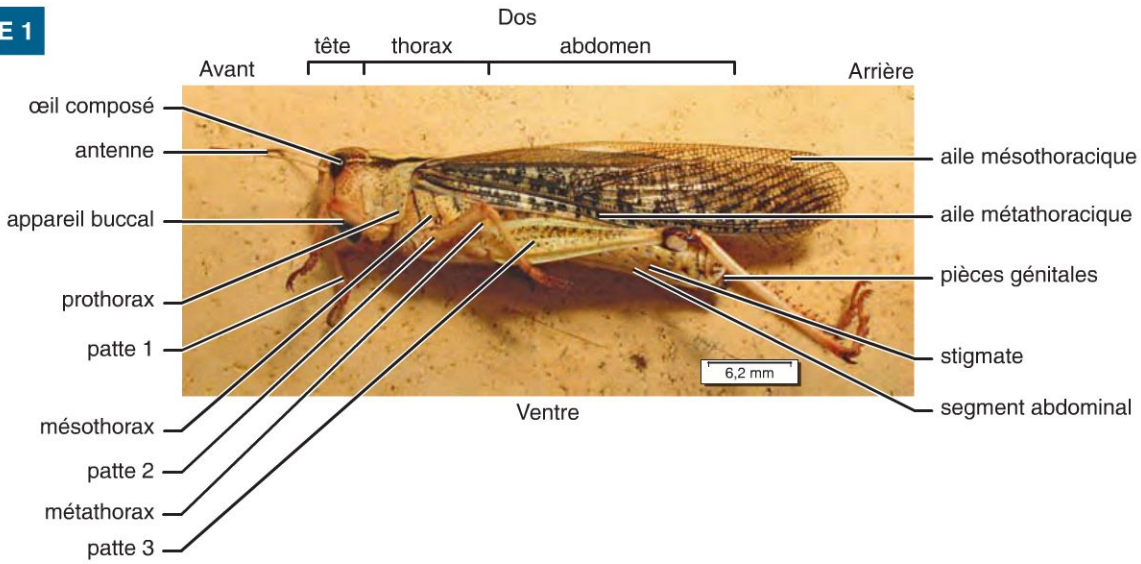


FIGURE 2

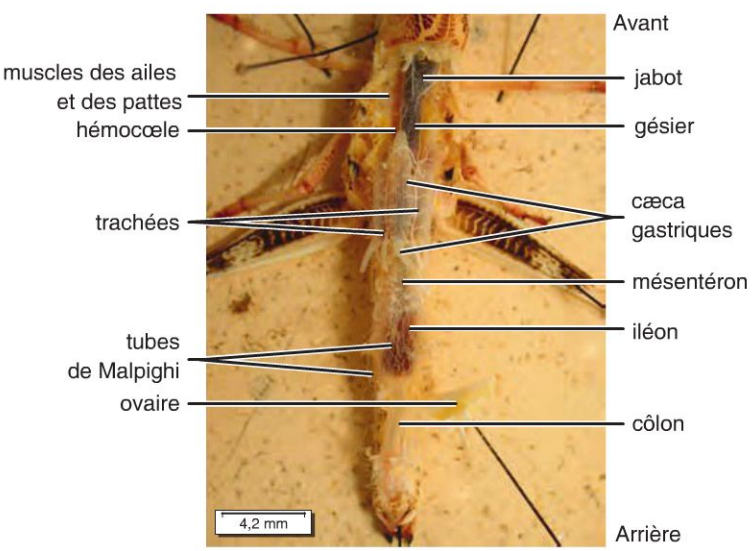


FIGURE 4

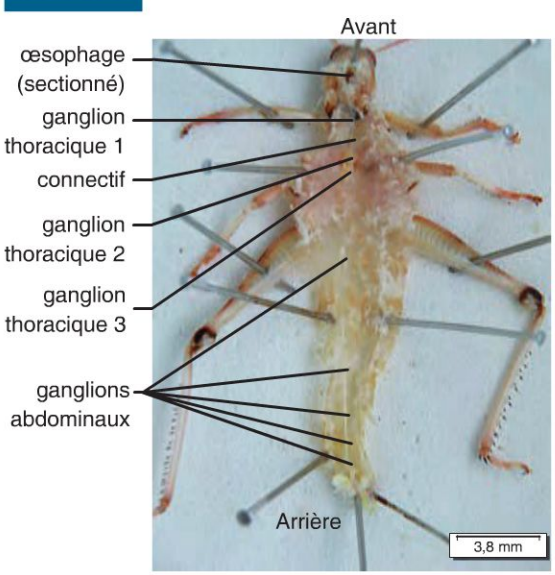
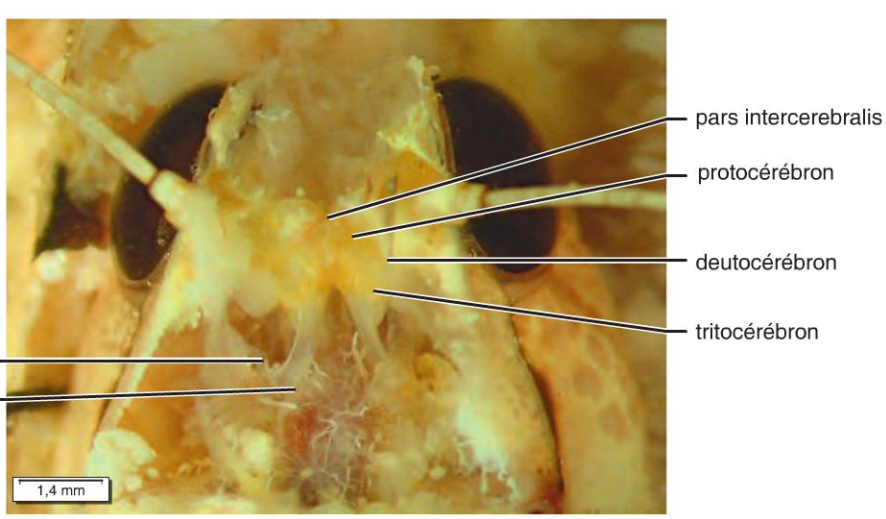


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation du *Criquet* par la dissection

fiche 15

Les Hexapodes, représentés pour l'essentiel par les Insectes, sont des Arthropodes ayant colonisé le milieu terrestre. Le *Criquet* et le *Grillon* en sont de bons exemples.

Figure 1. La morphologie du *Criquet* : un corps régionalisé et recouvert d'une cuticule (*vue externe latérale*) Le corps est divisé en trois parties : la tête (portant les organes sensoriels, la bouche et les pièces buccales), le thorax (caractérisé par la présence de trois paires de pattes et de deux paires d'ailes) et l'abdomen. Il est entièrement recouvert d'une cuticule plus ou moins rigide, la mobilité étant possible grâce à des membranes articulaires. Une segmentation externe est observable : le thorax est formé de trois métamères et l'abdomen en compte onze. Chacun porte une paire de stigmates, orifices de l'appareil respiratoire, en position latérale. La femelle et le mâle peuvent être aisément distingués grâce à l'extrémité de leurs abdomens : la femelle porte un ovipositeur constitué de trois paires de valves articulées alors que le mâle présente une plaque sous-génitale.

Figure 2. L'anatomie du *Criquet* : des appareils spécialisés dans la respiration, la circulation, l'alimentation, l'excrétion et la reproduction (*vue dorsale*) Les organes baignent dans une cavité, l'hémocœle, remplie de liquide, l'hémolymphe.
L'appareil respiratoire (fiche 42) correspond à un réseau complexe de trachées, tubes tapissés intérieurement d'une fine cuticule et maintenus béants grâce à ses épaississements spiralés. Elles s'ouvrent sur le milieu extérieur au niveau des stigmates et se ramifient dans l'organisme. S'y ajoutent de volumineux sacs aériens.
L'appareil digestif (fiches 29, 30) est composé d'un pharynx, d'un œsophage, d'un jabot musculeux, d'un gésier (formant le stomodeum) suivis d'un mésentéron dans lequel s'ouvrent six cæca gastriques. Il est terminé par un iléon, un côlon et un rectum (constituant le proctodeum) aboutissant à l'anus. Des glandes salivaires thoraciques le complètent.
L'excrétion est réalisée par de multiples tubes de Malpighi insérés à la jonction entre mésentéron et iléon (fiche 49). Ces organes, dont l'extrémité libre est fermée, baignent dans l'hémocœle.
L'appareil génital (fiches 79, 86) est représenté chez la femelle par deux ovaires volumineux et deux oviductes se réunissant en un vagin ventral ouvert sur la chambre génitale, auxquels s'ajoutent des glandes accessoires et une spermathèque. Chez le mâle, il est composé de deux testicules associés en une masse unique, munie de deux spermiductes. Ceux-ci débouchent dans un canal éjaculateur, de même que les glandes accessoires (dont les vésicules séminales). Lui fait suite un sac éjaculateur dont l'extrémité est occupée par un organe d'intromission.

Figures 3. et 4. L'anatomie du système nerveux du *Criquet* : un cerveau antérieur et une chaîne nerveuse ganglionnaire ventrale (*vues dorsales*) Le système nerveux central est représenté dans la région antérieure par un cerveau dont les prolongements postérieurs sont reliés à une masse ganglionnaire sous-œsophagienne par l'intermédiaire d'un collier périœsophagien. Lui fait suite une chaîne nerveuse ventrale.
Le cerveau est divisé en trois parties composées chacune d'une paire de ganglions symétriques accolés. Le protocérébron antérieur, correspondant à des ganglions cérébroïdes, est formé de deux lobes réunis par une structure appelée pars intercerebralis. Il innerve notamment les yeux composés et les ocelles. En arrière, le deutocérébron innerve les antennes. Le tritocérébron est quant à lui formé de deux lobes coniques se prolongeant par les connectifs périœsophagiens reliés à une masse sous-œsophagienne. Il innerve le labre.
Le cerveau résulte de la fusion de multiples ganglions antérieurs, processus constituant l'une des modalités de la cérébralisation.
La masse sous-œsophagienne est issue de la réunion de trois paires de ganglions et innerve les pièces masticatrices par plusieurs paires de nerfs ventraux.
La disposition métamérique de la chaîne nerveuse ventrale est altérée du fait de la fusion de certains ganglions. Elle compte ainsi trois ganglions thoraciques et cinq ganglions abdominaux.
La présence de centres nerveux antérieurs, situés au-dessus et en dessous de l'œsophage, associés à une chaîne nerveuse ganglionnaire ventrale est caractéristique de l'état hyponeurien.

Copyright © 2015 Dunod.

Les Arthropodes, des Bilatériens protostomiens ecdysozoaires

FIGURE 1

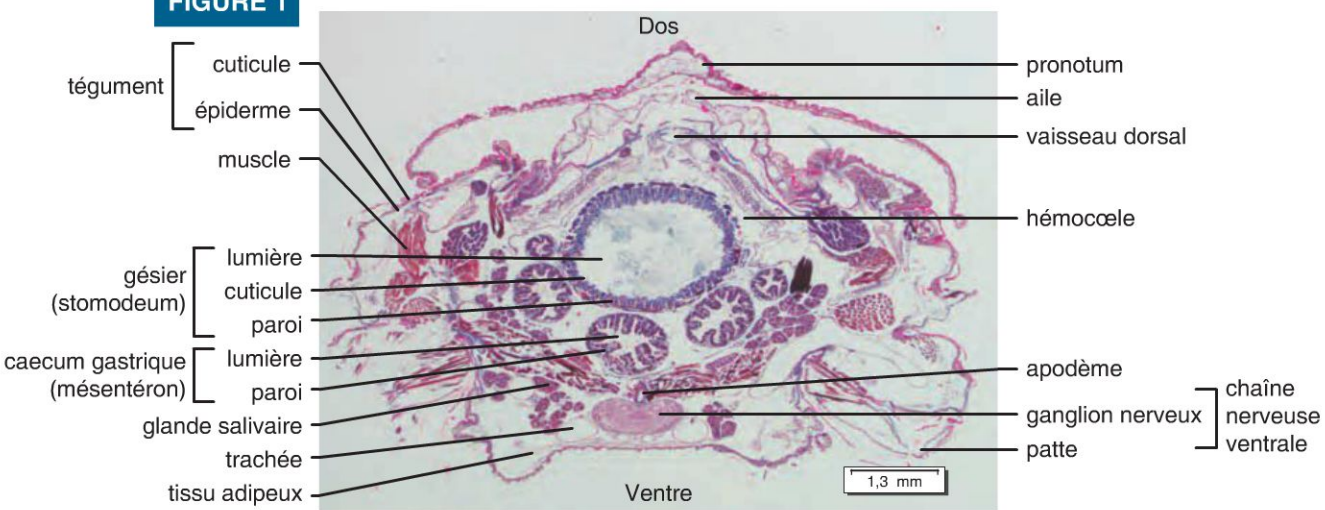


FIGURE 2

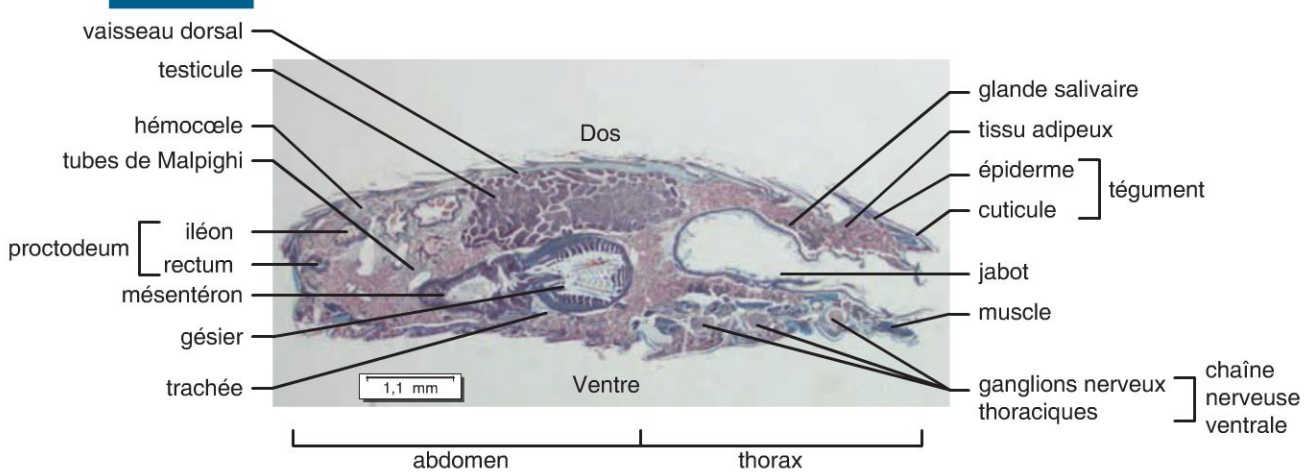
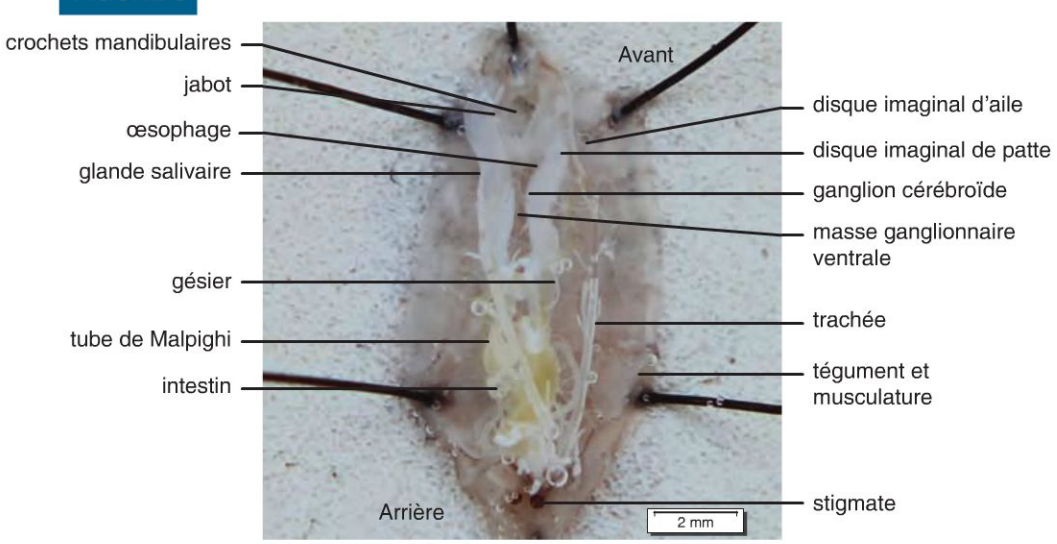


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation du *Criquet* et du *Grillon* par l'histologie ; la reproduction des Hexapodes

fiche 16

Le *Criquet* et le *Grillon* sont deux espèces permettant d'illustrer le plan d'organisation des Hexapodes.

Figure 1. L'anatomie du thorax du *Criquet* : une région à symétrie bilatérale, entourée d'une cuticule et contenant un hémocœle (*coupe transversale, stéréomicroscope*) La paroi du corps est formée d'une cuticule composée de plusieurs couches et recouvrant un épiderme simple, qui en réalise la sécrétion. L'appareil circulatoire, dorsal et ouvert, comporte un cœur abdominal, qui expulse l'hémolymphe dans des vaisseaux artériels irriguant les organes, tels l'artère aorte thoracique (fiche 75). L'hémolymphe circule ensuite librement dans la cavité générale, l'hémocœle, puis regagne le cœur dans lequel elle pénètre grâce aux ostioles.

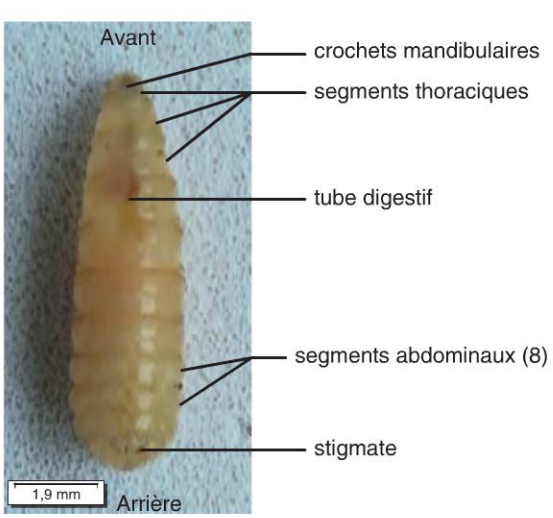
Figure 2. L'anatomie du thorax et de l'abdomen du *Grillon* : des tagmes, entourés d'une cuticule et contenant un hémocœle (*coupe sagittale, stéréomicroscope*) La portion antérieure du tube digestif (pharynx, œsophage, jabot et gésier) formant le stomodeum ainsi que sa portion postérieure, le proctodeum, sont tapissés de cuticule, à la différence du mésentéron qui en est dépourvu (fiches 29, 30). Ces deux ensembles ont la même origine embryonnaire que l'épiderme (ectoderme) alors que le mésentéron dérive de l'endoderme.

Le *Criquet* et le *Grillon*, comme l'*Écrevisse*, possèdent un plan d'organisation d'Eumétazoaire bilatérien. Ils présentent typiquement une symétrie bilatérale et une métamérie hétéronome, en relation avec la différenciation de tagmes (tête, thorax, abdomen) et la céphalisation.
La présence de mandibules et d'antennes les place dans le groupe des Mandibulates ou Antennates. Il s'agit d'animaux terrestres, à respiration trachéenne, possédant une seule paire d'antennes, une paire de mandibules et trois paires d'appendices locomoteurs thoraciques, ce qui les définit comme des Hexapodes. La localisation de leurs pièces buccales, externe par rapport à la capsule céphalique, permet de les classer parmi les Insectes.

La reproduction des Hexapodes est le plus souvent de type sexuée, et les espèces gonochoriques. Il existe de nombreux cas de parthénogenèse (*Abeille* par exemple) ainsi que quelques exemples de reproduction asexuée (Hyménoptères parasites notamment).
Les œufs des Insectes holométaboles, comme la *Mouche*, libèrent une larve très différente de l'adulte. Après une période de croissance, elle se transforme en adulte à la faveur d'une métamorphose. Dans le cas des Insectes hétérométaboles, comme le *Criquet*, des individus juvéniles ressemblant à l'adulte en sont issus. La croissance est toujours discontinue, faisant intervenir des mues.

Figures 3. et 4. La morphologie et l'anatomie de la larve de *Mouche* : un asticot dépourvu de tête et d'appendices, possédant des disques imaginaux (*vue externe dorsale, vue interne par la face dorsale*) L'éclosion de l'œuf libère une larve dépourvue de tête (acéphale) et d'appendices locomoteurs (apode), appelée asticot. Elle diffère profondément de l'adulte mais présente une segmentation thoracique et abdominale.
Larve et adulte partagent certains appareils et systèmes (respiratoire, digestif, excréteur, nerveux). La larve possède en outre des disques imaginaux, ensembles de cellules ayant conservé des caractères embryonnaires, à l'origine des structures adultes. Lors de la métamorphose, leur développement donne naissance aux antennes, aux yeux composés, aux ailes, aux balanciers (organes d'équilibration résultant de la modification des ailes métathoraciques), aux pattes, aux pièces génitales alors que les autres appareils sont profondément modifiés.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

1 Les Arthropodes, des Bilatériens protostomiens ecdysozoaires

FIGURE 1

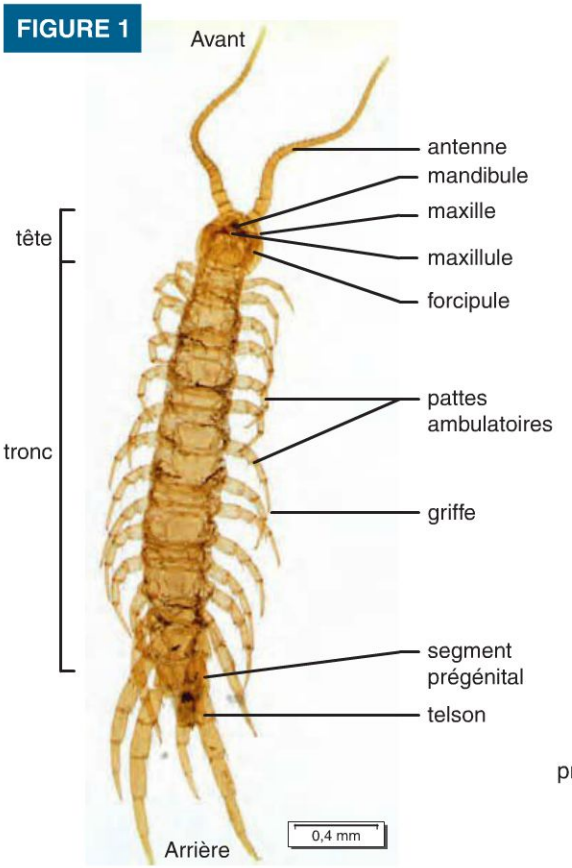


FIGURE 3

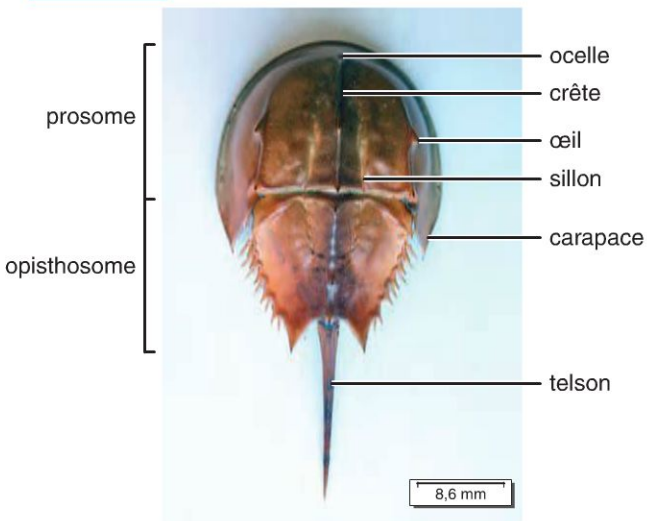


FIGURE 4

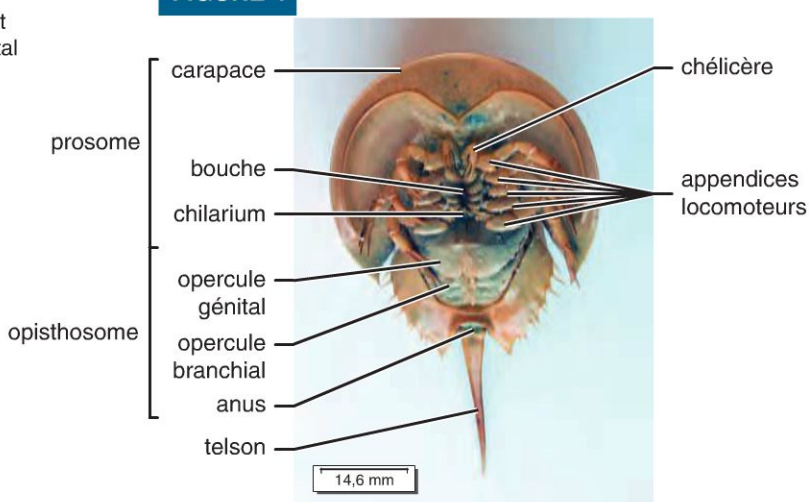
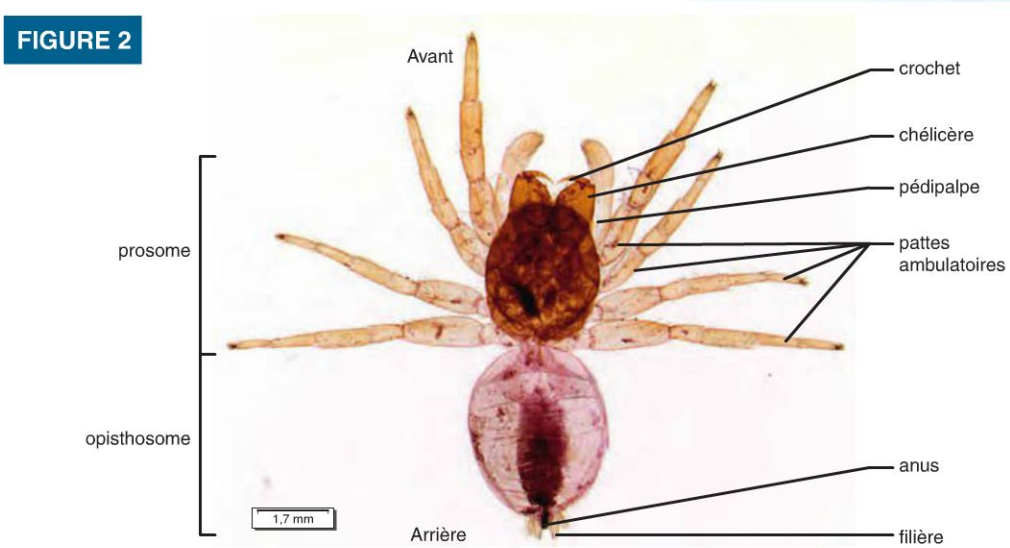


FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

Aperçu de la diversité des Arthropodes

Diversité des Arthropodes

Outre l'*Écrevisse*, le *Criquet* et le *Grillon*, le taxon des Arthropodes comporte des animaux comme le *Mille-pattes*, l'*Araignée* et la *Limule*.

Figure 1. La morphologie du *Mille-pattes* : une tête portant des mandibules et un tronc formé de segments semblables (*montage* in toto*, stéréomicroscope*) Le corps, recouvert d'une cuticule, est formé d'une tête portant une paire d'antennes ainsi qu'une paire de mandibules, et d'un tronc très long, composé de multiples segments. Le premier est muni d'une paire de crochets venimeux appelés forcipules, les suivants possèdent chacun une paire d'appendices locomoteurs.
Cet animal terrestre à respiration trachéenne appartient au groupe des Myriapodes, au sein des Mandibulates ou Antennates.

Figure 2. La morphologie de l'*Araignée* : un prosome portant des chélicères et un opisthosome, non segmentés (*montage* in toto*, stéréomicroscope*) Le corps, recouvert d'une cuticule, est divisé en deux tagmes : un prosome antérieur et un opisthosome postérieur. Le prosome porte des organes sensoriels (yeux simples, longues soies) et sur sa face ventrale une paire de chélicères ainsi qu'une paire de pédipalpes tactiles. Les quatre paires de pattes locomotrices y sont également insérées. Il est relié par un fin pédicule à l'opisthosome sur lequel sont situés ventralement les orifices génitaux, respiratoires ainsi que les filières (organes séricigènes) et l'anus, en position distale. Femelles et mâles peuvent être distingués grâce à leurs pédipalpes : ceux-ci sont modifiés en organes copulateurs chez le mâle.
Cet animal terrestre ne possède ni mandibule ni antenne, mais une paire de chélicères préhensiles localisés en avant de la bouche en position ventrale. Il appartient au groupe des Chélicériformes et plus particulièrement aux Arachnides.

Figures 3. et 4. La morphologie de la *Limule* : un prosome portant des chélicères et un opisthosome terminé par un telson (*mue vue par la face dorsale et par la face ventrale*) Le corps est protégé par une cuticule formant une véritable carapace. Il est divisé en un prosome antérieur et un opisthosome postérieur, et terminé par un telson en forme d'aiguillon. Le prosome porte sept paires d'appendices ventraux : une paire de chélicères située à l'avant de la bouche, cinq paires de pattes locomotrices et une paire de chilaria. L'opisthosome est quant à lui muni de six paires d'appendices correspondant à un opercule génital et cinq paires d'opercules branchiaux.
Cet animal possédant des chélicères, au mode de vie aquatique et à la respiration branchiale, est classé dans le groupe des Chélicériformes, dans lequel il représente les Mérostomes.

Les Arthropodes forment un groupe d'Eumétazoaires bilatériens protostomiens présentant une métamérie très altérée. La dissociation des cavités cœlomiques au cours de leur développement contribue à la mise en place d'une vaste cavité générale, l'hémocœle, sur laquelle est ouvert leur appareil circulatoire. Leur système nerveux est composé de ganglions cérébroïdes et d'une chaîne nerveuse ventrale (hyponeuriens) mais il subit une importante condensation (cérébralisation accompagnant la céphalisation).
Par ailleurs, ils possèdent une cuticule formée de plusieurs couches constituant un véritable squelette externe. Sa présence est responsable du caractère discontinu de leur croissance, qui est rendue possible par des mues. De ce fait, les Arthropodes appartiennent au groupe des Ecdysozoaires.

Copyright © 2015 Dunod.

1 Les Nématodes, des Bilatériens protostomiens ecdysozoaires

FIGURE 1

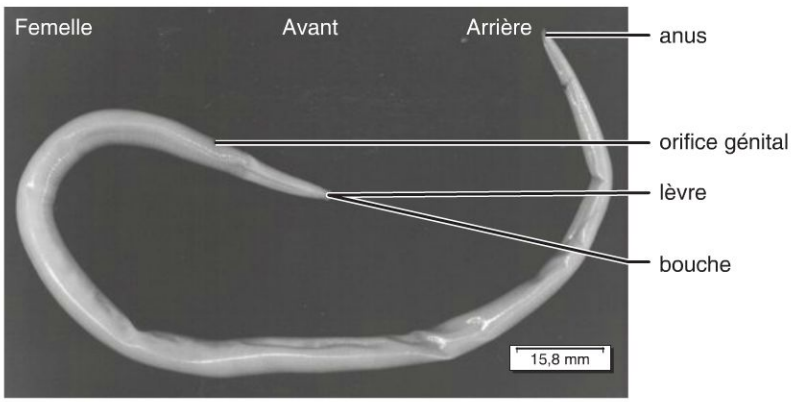


FIGURE 2

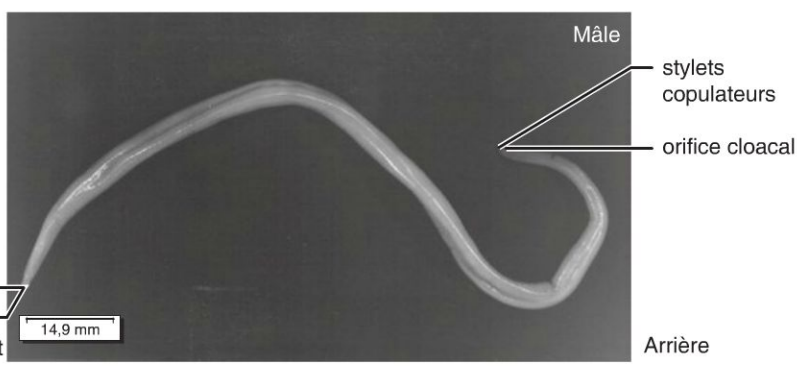


FIGURE 3

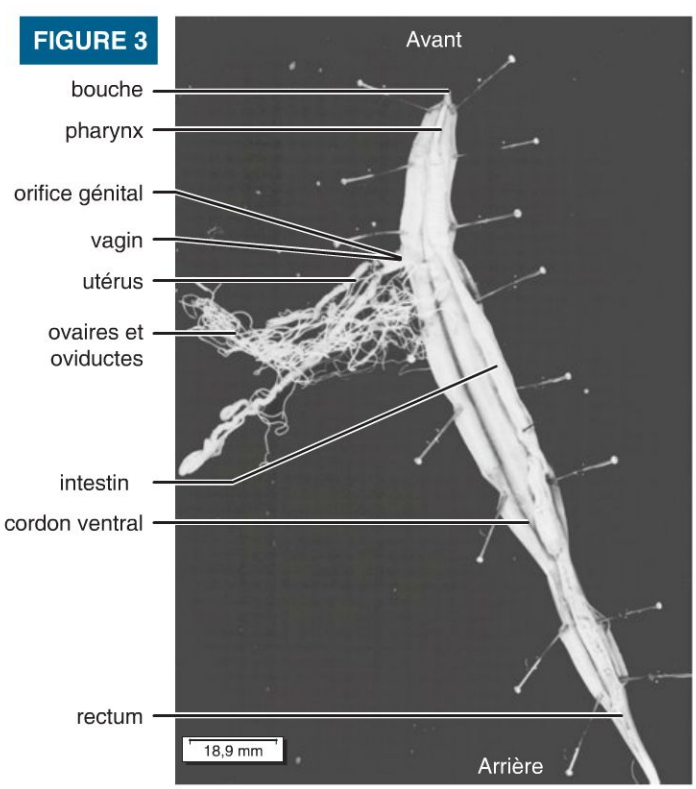
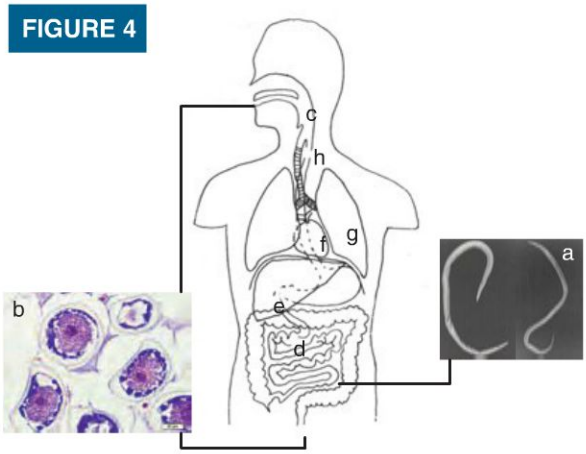


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation par la dissection et le cycle de vie de l'*Ascaris*

fiche 18

Le taxon des Nématodes est composé d'animaux menant une vie libre, en milieu aquatique marin ou en eau douce, voire dans le sol. Il comporte également de nombreuses formes parasites dont les hôtes sont soit des animaux (zooparasites comme l'*Ascaris*) soit des végétaux (phytoparasites comme l'*Anguillule du blé*).
Le cas de l'*Ascaris*, parasite du tube digestif des Mammifères, nous servira d'exemple pour l'étude de ce groupe.

Figures 1. et 2. Les morphologies des *Ascaris* femelle et mâle : des vers cylindriques et effilés, entourés d'une cuticule (*vues externes*) Le corps est vermiforme, cylindrique, protégé par une cuticule. Il ne porte pas d'appendice et est effilé à ses deux extrémités. L'une, antérieure, porte la bouche entourée de trois lèvres alors que l'autre, postérieure, porte l'anus chez la femelle et un orifice cloacal entouré de deux spicules chez le mâle. Les sexes sont séparés ; la femelle est plus grande que le mâle, et l'extrémité postérieure de ce dernier est recourbée en crosse.

Figure 3. L'anatomie de l'*Ascaris* : des appareils digestif, excréteur et génital baignant dans un pseudocœlome (*vue dorsale*) L'appareil digestif est rectiligne. De la bouche à l'anus il est composé successivement de la capsule buccale, du pharynx, de l'intestin et du rectum.
L'appareil génital comporte, chez la femelle, deux ovaires filiformes très longs, deux oviductes suivis de deux utérus qui convergent vers un vagin aboutissant à un orifice génital ventral situé dans une légère constriction au tiers antérieur du corps, et chez le mâle, un testicule filiforme très circonvolué, renflé dans sa portion terminale en une vésicule séminale et ouvert sur l'extérieur au niveau du cloaque.
L'appareil excréteur, peu visible sur la dissection, est constitué de cellules géantes, les rénettes, formant deux fins canaux longitudinaux logés dans des bourrelets pariétaux latéraux et débouchant à l'extérieur par un orifice situé en arrière de la bouche, après s'être réunis.
Le système nerveux formé d'un anneau périœsophagien qui émet vers l'avant des nerfs innervant les lèvres et vers l'arrière quatre troncs nerveux (un ventral, un dorsal et deux latéraux).
Cet animal possède une vaste cavité générale remplie de liquide dans laquelle baignent les organes, appelée pseudocœlome. Leur disposition détermine une symétrie bilatérale. Il est dépourvu d'appareil respiratoire et d'appareil circulatoire différenciés.
La reproduction de l'*Ascaris*, comme celle des autres Nématodes, est réalisée exclusivement par voie sexuée. Reproduction asexuée et régénération sont absentes.

Figure 4. Le cycle de vie de l'*Ascaris* : un développement indirect permettant de changer d'hôte
a. Les adultes vivent dans l'intestin de l'hôte. Lors de l'accouplement, le mâle déverse ses spermatozoïdes dans les conduits génitaux de la femelle grâce à ses spicules copulateurs.
b. Après la fécondation interne, les œufs entourés d'une épaisse enveloppe sont émis dans le tube digestif de l'hôte. Ils sont rejetés dans le milieu avec les fèces.
c. Un nouvel hôte est infesté en absorbant des œufs embryonnés, qui éclosent dans son intestin (**d**).
e. Les larves libérées traversent la paroi intestinale, migrent vers les poumons (**f**, **g**), les bronches, la trachée puis l'œsophage (**h**). Elles gagnent l'intestin dans lequel elles terminent leur développement. Du fait de la présence d'une cuticule, celui-ci fait intervenir quatre mues, qui permettent la croissance de l'animal.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

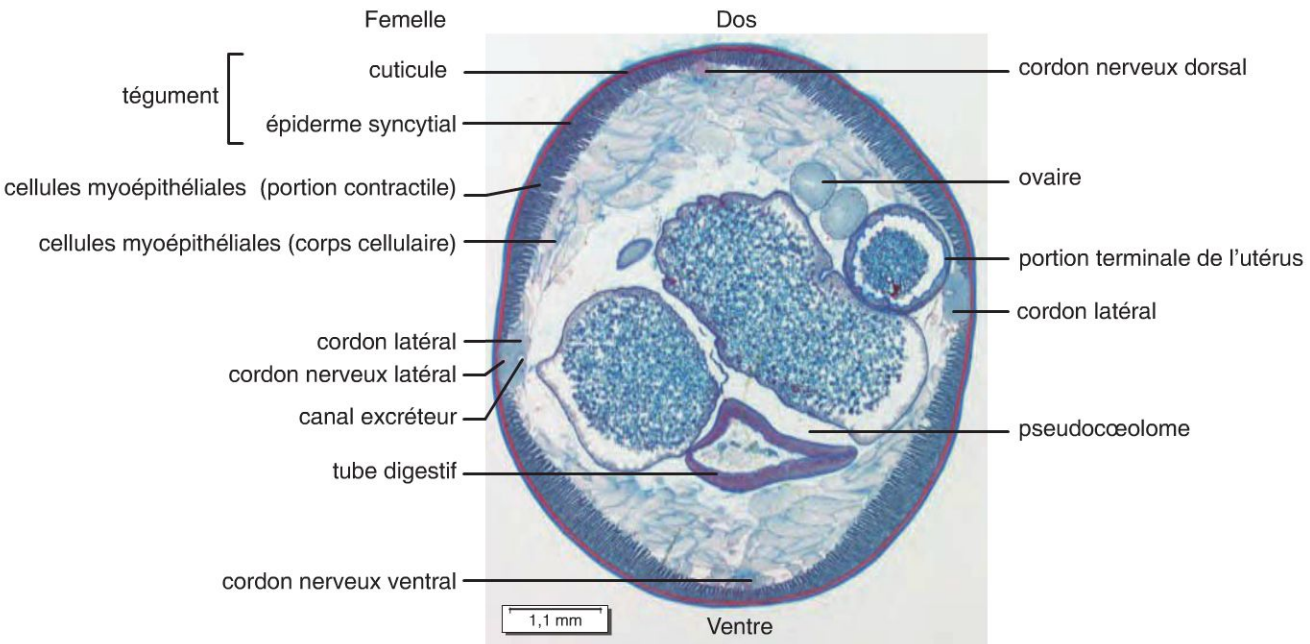
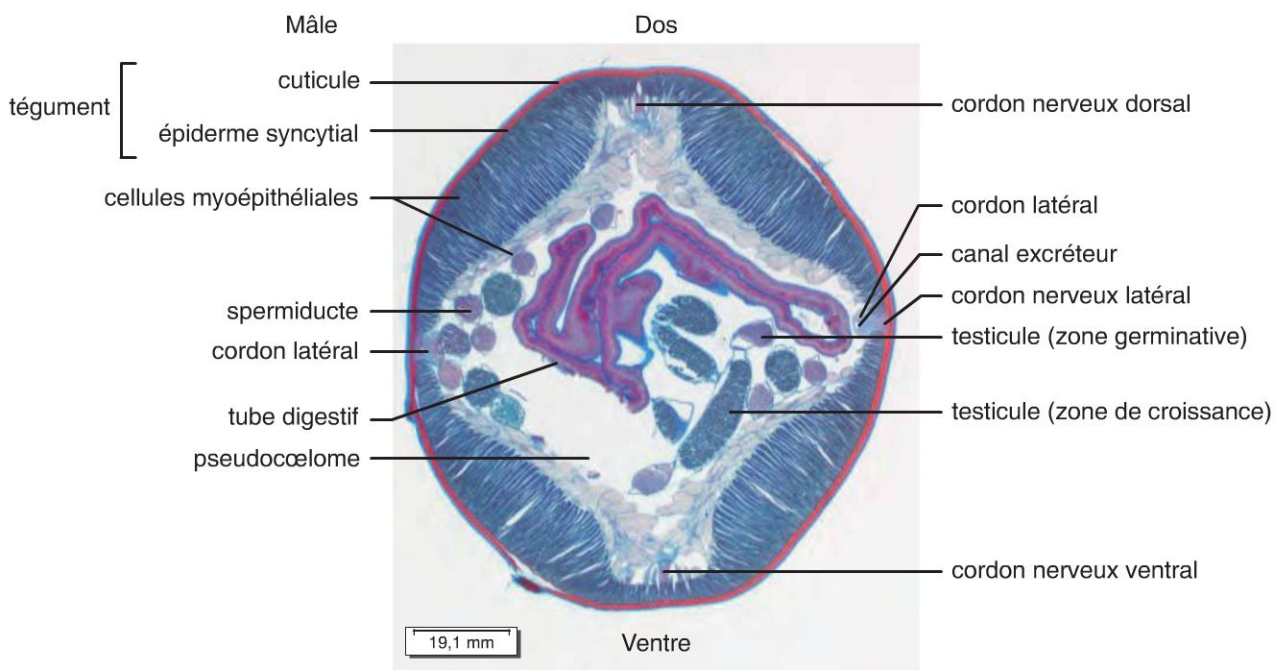


FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de l'*Ascaris* par l'histologie

fiche 19

L'*Ascaris* est un exemple à partir duquel le plan d'organisation des Nématodes peut être décrit.

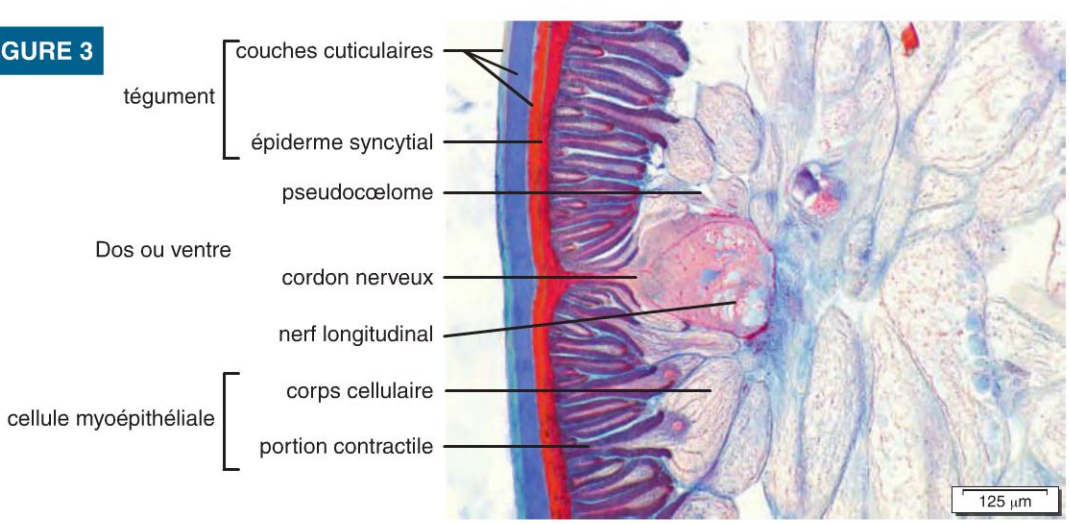
Figures 1. et 2. Les anatomies des *Ascaris* femelle et mâle : un corps entouré d'une cuticule constitué d'organes déterminant une symétrie bilatérale et baignant dans un pseudocœlome (*coupes transversales, stéréomicroscope*) Le corps est protégé par une épaisse cuticule surmontant un épiderme simple développant quatre crêtes longitudinales. Les crêtes dorsale et ventrale abritent des troncs nerveux alors que les crêtes latérales contiennent les canaux excréteurs. La musculature sous-jacente est formée de cellules myoépithéliales comportant une région basale contractile et un volumineux corps cellulaire apical.
L'appareil digestif et l'appareil génital baignent dans une vaste cavité périviscérale remplie de liquide, qui peut contenir quelques cellules mésenchymateuses organisées en réseau et quelques cellules amiboïdes. Elle est appelée pseudocœlome.
La disposition générale et les propriétés du tégument, des cellules myoépithéliales et de la cavité périviscérale contribuent à la constitution de l'hydrosquelette de l'*Ascaris*.

Figure 3. L'organisation de la paroi du corps de l'*Ascaris* : un épiderme syncytial surmonté d'une cuticule et entourant une assise de cellules myoépihéliales (*coupe transversale, microscope photonique*) L'épaisse cuticule qui protège le corps est formée de plusieurs strates. L'épiderme sous-jacent résulte de la fusion de multiples cellules, il est qualifié de syncytial.

L'*Ascaris* est ainsi un animal possédant des organes différenciés formant des appareils ou des systèmes spécialisés, mis en place à partir de trois feuillets embryonnaires (le mésoderme donne notamment naissance aux cellules myoépithéliales) et leur organisation dans l'espace définit une symétrie bilatérale. L'*Ascaris* et plus généralement les Nématodes sont des Bilatériens. Les appareils digestif et génital baignent dans le liquide de la cavité périviscérale dérivée d'une cavité embryonnaire, le blastocœle, et désignée par le terme pseudocœlome. Elle n'est pas creusée dans le mésoderme et de ce fait diffère du cœlome. En conséquence ces animaux sont qualifiés de pseudocœlomates.

Les Nématodes sont donc des Bilatériens pourvus d'organes et d'appareils spécialisés, ainsi que d'une cavité corporelle dérivée du blastocœle. Leur organisation demeure assez simple puisqu'ils ne possèdent ni appareil circulatoire, ni appareil respiratoire.
De la même manière que les Arthropodes, en relation avec la présence d'une cuticule externe, ces animaux ont une croissance discontinue impliquant des mues, ils appartiennent au groupe des Ecdysozoaires.

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

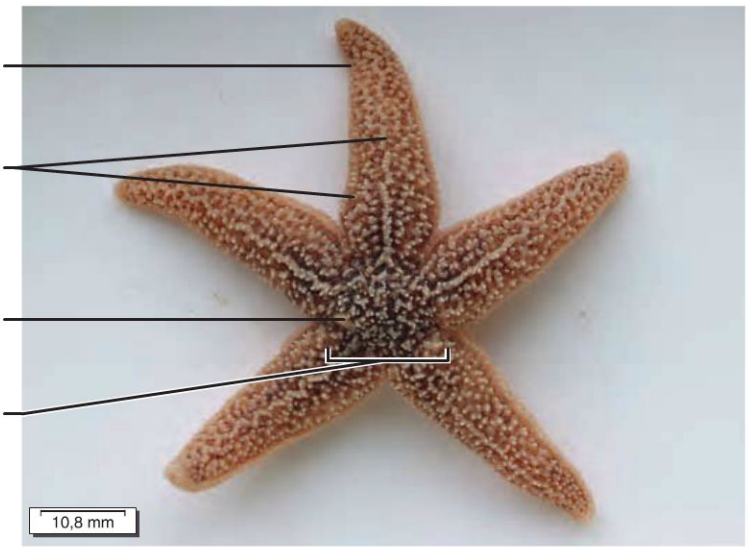


FIGURE 2

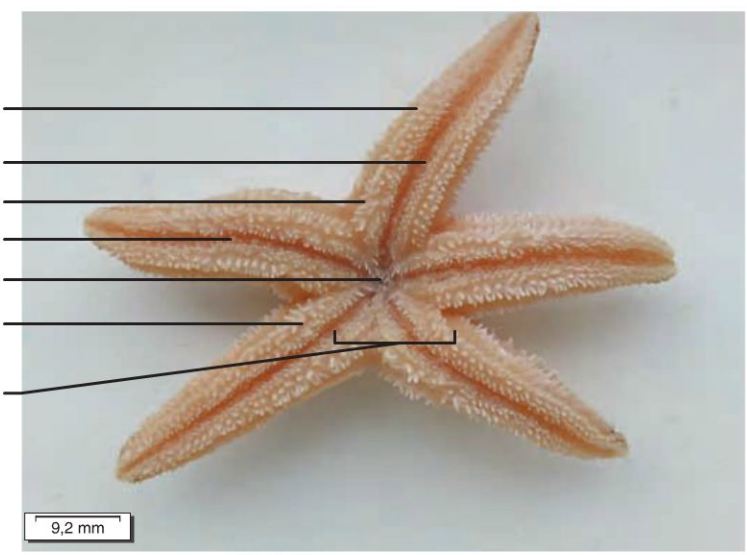
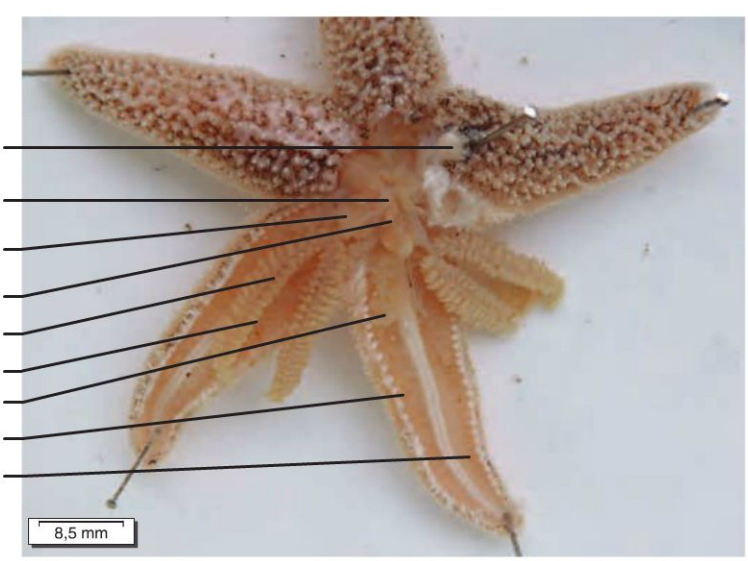


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de l'*Étoile de mer* par la dissection

fiche 20

Le taxon des Échinodermes comporte des organismes marins, menant une vie libre (*Étoile de mer*, *Oursin*, *Holothurie*, *Ophiure*) ou fixée (certains *Crinoïdes*).
L'exemple de l'*Étoile de mer* nous permettra d'examiner leur organisation.

Figures 1. et 2. La morphologie de l'*Étoile de mer* : un disque central et cinq bras déterminant une polarité orale-aborale et une symétrie pentaradiée (*vues externes par la face aborale et par la face orale, respectivement*). Le corps est organisé autour d'une région centrale, appelée disque central, sur laquelle sont insérés cinq bras. Il possède deux faces : la face orale portant la bouche et la face aborale où s'ouvre l'anus, présentant une plaque percée de pores, la madréporite. Sur la face orale, les bras sont creusés de gouttières qualifiées d'ambulacraires, rayonnant à partir de la bouche. Elles sont bordées d'expansions souples munies de ventouses, les pieds ambulacraires ou podia, à vocations locomotrice, sensorielle mais aussi alimentaire, voire respiratoire et excrétrice. De longs piquants sont également insérés sur la face orale des bras. Côté aboral, les bras portent des piquants de taille réduite, entourés de pédicellaires, petites expansions souples et mobiles terminées par des mors, ainsi que des papules, replis tégumentaires à rôle respiratoire. Par comparaison avec l'organisation des autres Échinodermes, les bras constituent des radius et les espaces les séparant, des interradius. Cette morphologie confère à l'*Étoile de mer* une symétrie axiale d'ordre cinq, ou pentaradiée, à laquelle est superposée une symétrie bilatérale, définie par un plan contenant la madréporite.

Figure 3. L'anatomie de l'*Étoile de mer* : des appareils présentant une symétrie pentaradiée baignant dans une cavité cœlomique (*vue par la face aborale*) L'appareil digestif débute par la bouche s'ouvrant sur un court œsophage suivi par un estomac divisé en estomac cardiaque et estomac pylorique, ce dernier communicant avec cinq cæca pyloriques bifides (chaque bras est muni d'un cæcum). Après un court rectum, relié à deux petits cæca rectaux, l'appareil digestif débouche sur l'extérieur par l'anus. L'appareil respiratoire est représenté par des papules, expansions tégumentaires ; les pieds ambulacraires contribuent également aux échanges respiratoires. Il n'existe pas d'appareil excréteur différencié. L'appareil génital est composé de cinq gonades bilobées situées en position interradiaire (chaque bras renferme deux lobes gonadiques). Elles s'ouvrent sur l'extérieur par cinq pores génitaux situés entre les bras. Une vaste cavité cœlomique contient les organes. Le système nerveux comporte un système oral superficiel (anneau oral, cinq nerfs radiaires, nerfs marginaux), un système oral profond et un système aboral (anneau périanal, cinq nerfs radiaires).

L'*Étoile de mer* possède en outre un système hydrovasculaire complexe, constitué de trois appareils dérivés du cœlome, possédant le plus souvent des parois ciliées.
L'appareil aquifère ou ambulacraire, également appelé hydrocœle, est formé d'un anneau aquifère oral situé autour de l'œsophage, qui émet cinq canaux radiaires courant sur la face orale des bras. De chaque canal émanent des branches portant des vésicules reliées aux pieds ambulacraires. L'anneau aquifère est raccordé à l'ampoule de la madréporite par un canal hydrophore ou madréporique. L'eau de mer pénètre dans cet appareil par les pores de la madréporite.
L'appareil périhémal ou sinusaire est représenté par un sinus axial entourant le canal hydrophore. Il est relié à un anneau sinusaire aboral, qui émet cinq canaux interradiaires se dilatant en sinus génitaux. Un anneau sinusaire oral est également présent, situé sous l'anneau ambulacraire, d'où émanent cinq sinus radiaires qui accompagnent les canaux ambulacraires sur toute leur longueur. Cet appareil est bien individualisé et possède des parois propres, souvent musculeuses.
L'appareil hémal ou lacunaire est pour sa part dépourvu de paroi propre. Il consiste en un réseau de lacunes entourées par l'appareil périhémal. Il comprend un anneau lacunaire oral, d'où se détachent cinq lacunes radiaires, un anneau lacunaire aboral uni aux lacunes génitales et un anneau circum-aboral localisé sous le précédent, émettant deux ramifications par cæcum pylorique, réalisant l'absorption et la distribution des substances nutritives. Une glande brune, logée dans le sinus axial, complète ce dispositif. Cet appareil hémal correspond à l'appareil circulatoire de l'*Étoile de mer*.
La cavité dans laquelle baigne l'ensemble des organes a également une origine cœlomique.

Copyright © 2015 Dunod.

Les Échinodermes, des Bilatériens deutérostomiens

FIGURE 1

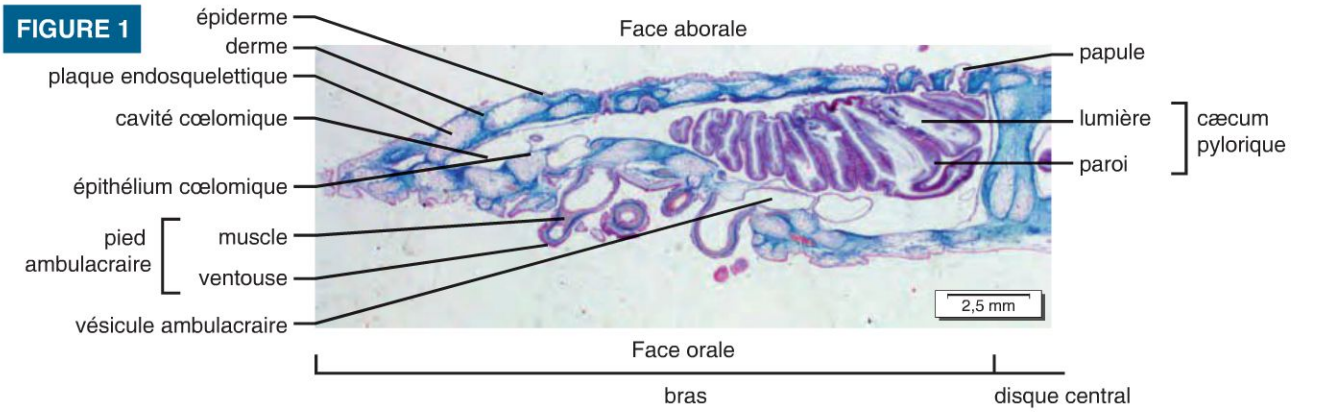


FIGURE 2

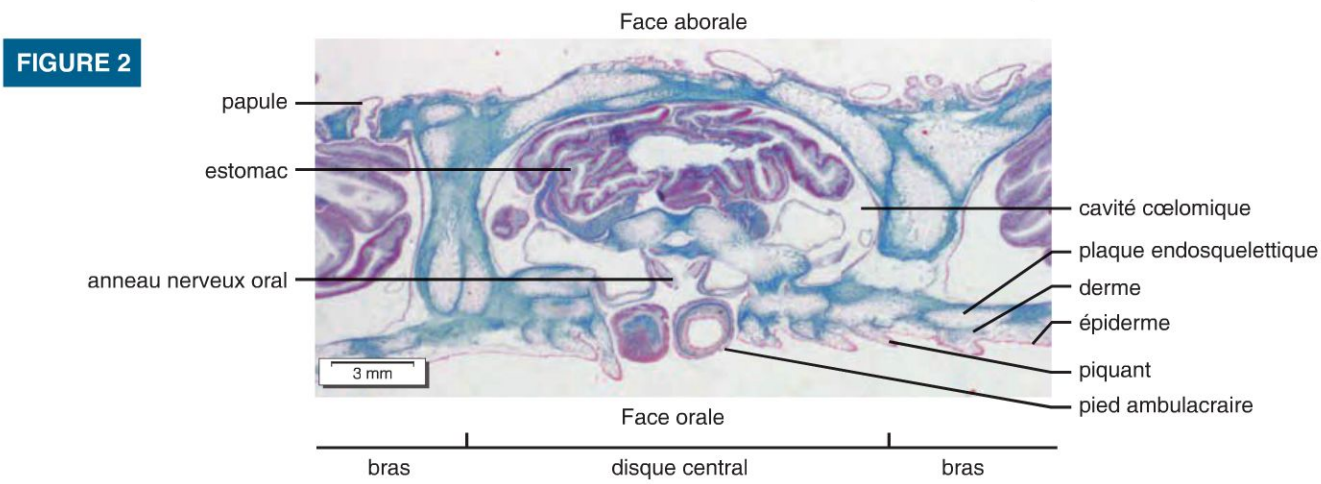


FIGURE 3

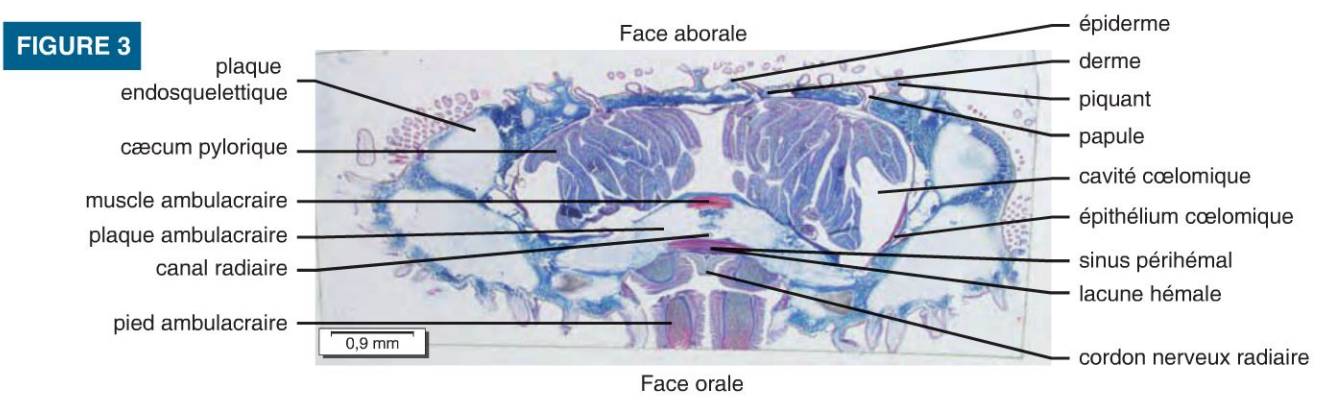


FIGURE 4

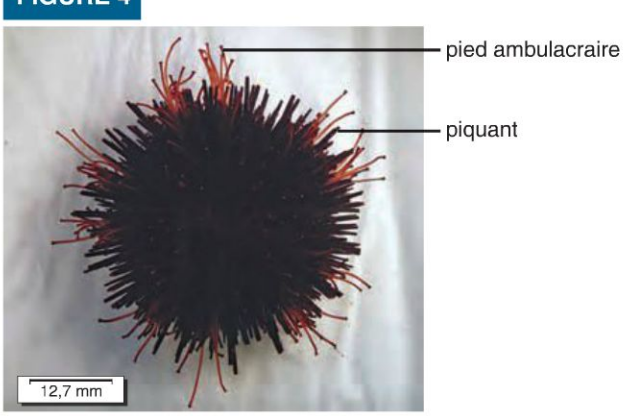
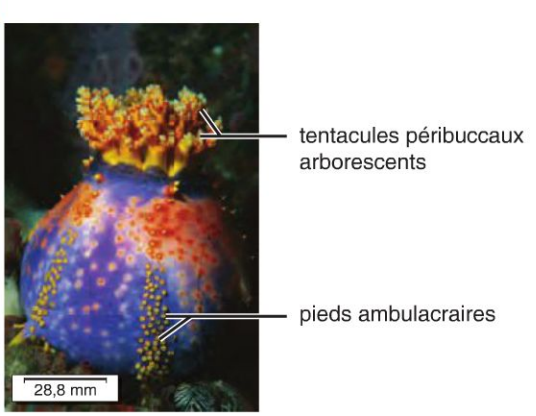


FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de l'*Étoile de mer* par l'histologie ; aperçu de la diversité des Échinodermes

fiche 21

L'étude de l'*Étoile de mer* permet de dégager les caractéristiques du plan d'organisation des Échinodermes.

Figures 1., 2. et 3. L'anatomie de l'*Étoile de mer* : un squelette dermique, un réseau nerveux sous-épidermique et une cavité corporelle cœlomique (*coupe longitudinale d'un bras, coupe du disque central, coupe transversale d'un bras, stéréomicroscope*) Le tégument apparaît sous forme d'un épiderme simple, cilié, comportant quelques cellules muqueuses et neurosensorielles. Il surmonte un derme épais dans lequel des éléments nerveux sont visibles, ce qui est caractéristique d'un animal épithélioneurien. Y sont également enchâssées les plaques rigides, nombreuses et non soudées, constituant le squelette. Cet ensemble délimite la cavité générale, cœlomique, dans laquelle baignent les organes. Elle forme des diverticules faisant saillie en surface, les papules à rôle respiratoire.

L'*Étoile de mer* est caractérisée par une symétrie pentaradiée, la présence d'un endosquelette, la possession d'un système hydrovasculaire complexe et d'un système nerveux étroitement associé à l'épiderme. Ces aspects sont représentatifs du plan d'organisation des Échinodermes, Bilatériens présentant de multiples structures dérivées du cœlome (cavité générale, appareil ambulacraire, appareil périhémal, appareil hémal). La présence de bras individualisés rattachés à un disque central et de gouttières ambulacraires marque l'appartenance de l'*Étoile de mer* au groupe des Astérides.

Diversité des Échinodermes

La forme du corps, le développement du squelette et le type de larve révèlent la diversité des Échindodermes.

Figure 4. La morphologie de l'*Oursin :* un test portant des piquants (*vue par la face aborale*) Le corps a une forme subsphérique et est hérissé de piquants entre lesquels pieds ambulacraires et pédicellaires sont présents. Le squelette, bien développé, est représenté par un test continu, formé de pièces soudées. L'animal vit face orale orientée vers le substrat. Il appartient au groupe des Échinides.

Figure 5. La morphologie de l'*Holothurie* : des tentacules ambulacraires et un squelette réduit (*vue latérale*) Le corps présente une symétrie bilatérale. Mou et allongé, il porte des pieds ambulacraires péribuccaux transformés en tentacules. Le squelette est réduit, la madréporite interne. L'animal possède un arbre respiratoire correspondant à un poumon.

La reproduction des Échinodermes est essentiellement sexuée. Les sexes sont généralement séparés et les gamètes émis dans l'eau de mer où a lieu la fécondation. Au cours du développement embryonnaire, pendant la gastrulation, un blastopore se forme, marquant la position du futur anus. La bouche apparaissant secondairement, les Échinodermes sont qualifiés de deutérostomiens. Le cœlome est mis en place par invagination de la paroi du tube digestif, processus appelé entérocœlie.
À l'issue du développement embryonnaire, une larve dipleurula, caractéristique du taxon est formée. Elle évolue en larves plus complexes, spécifiques des groupes. Le développement se poursuit par une métamorphose donnant naissance à la forme juvénile.

Figures 6, 7 et 8. Larves bipinnaria d'Astéride, échinoplutéus d'Échinide, auricularia d'Holothuride (*montages* in toto*, micro-scope photonique*)

Les Échinodermes constituent donc un taxon de Bilatériens deutérostomiens ne présentant pas de métamérie. Leur symétrie pentaradiée ainsi que leur caractère épithélioneurien sont originaux.

FIGURE 6

FIGURE 7

FIGURE 8

Copyright © 2015 Dunod.

Les Chordés, des Bilatériens deutérostomiens

FIGURE 1

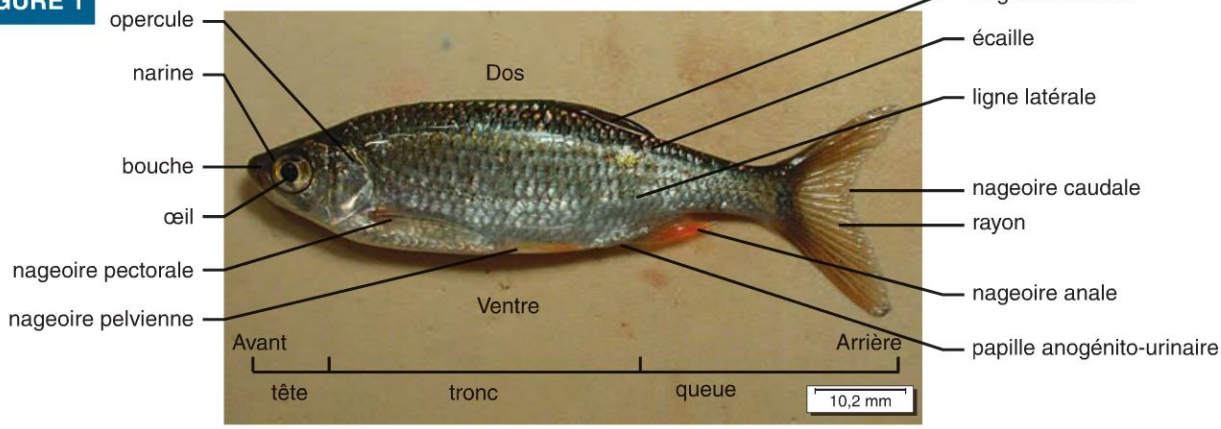


FIGURE 2

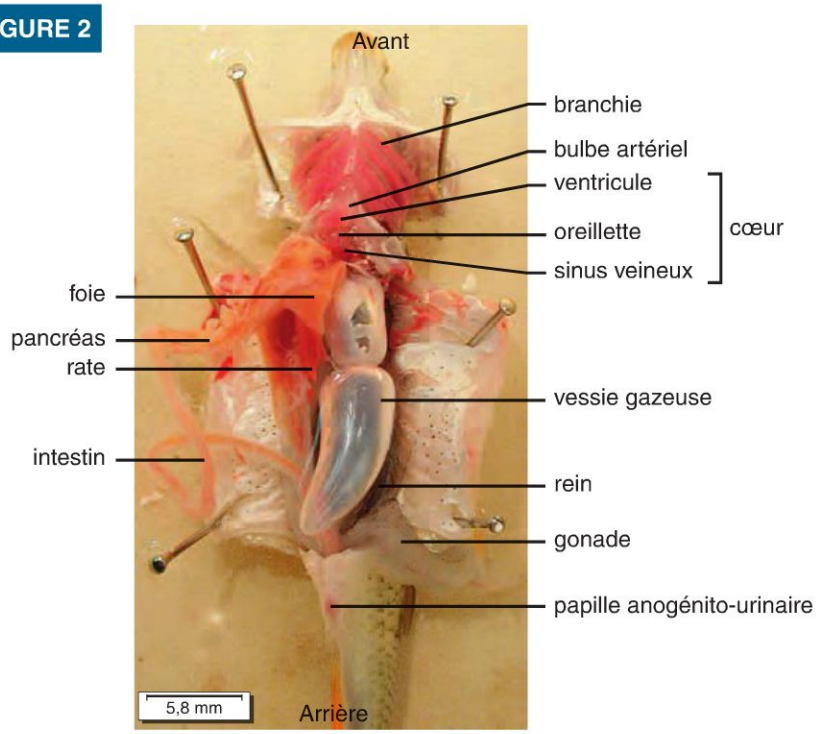
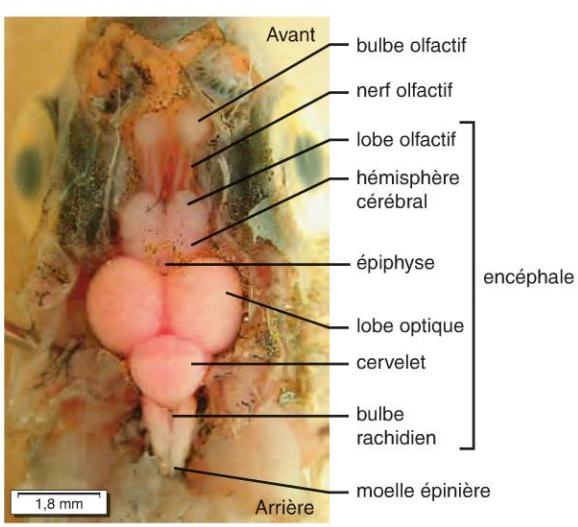


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation du *Gardon* par la dissection

fiche 22

Parmi les Chordés, les Vertébrés sont représentés par des animaux menant le plus souvent une vie libre, en milieu marin (*Roussette*, *Thon*, *Baleine*), en eau douce (*Gardon*, *Grenouille*) ou en milieu terrestre (*Vipère*, *Souris*, *Poule*).
Le *Gardon* est un exemple permettant de dégager certains de leurs caractères essentiels.

Figure 1. La morphologie du *Gardon* : un corps à symétrie bilatérale, formé d'une tête, d'un tronc et d'une queue (*vue latérale*) Le corps, allongé, est aplati latéralement et divisé en trois parties. La tête porte la bouche, les yeux, les narines et est limitée en arrière par les opercules. Le tronc est marqué par la présence de nageoires paires (pectorales et pelviennes) et impaires (dorsale et anale). Une papille anogénito-urinaire matérialise les orifices anal, génital et urinaire en avant de la nageoire anale. Le tronc est prolongé par une queue munie d'une nageoire caudale. Les nageoires sont soutenues par des rayons ramifiés. Le corps est couvert d'écailles dont certaines sont percées et associées à des récepteurs sensoriels (fiches 53, 61) ; elles constituent la ligne latérale, organe sensible aux mouvements et variations de pression de l'eau environnante.
Le *Gardon* présente une symétrie bilatérale déterminée par la disposition des organes pairs.

Figure 2. L'anatomie du *Gardon* : une symétrie bilatérale et un appareil respiratoire branchial adapté au milieu aquatique (*vue par la face ventrale*) L'appareil respiratoire est composé de quatre paires de branchies antérieures (fiche 41), protégées par les opercules fermant les cavités branchiales.
L'appareil circulatoire y est étroitement associé. Clos, il comporte un cœur ventral, formé d'un sinus veineux, d'une oreillette et d'un ventricule, entouré d'un péricarde. À l'avant, il est prolongé par un bulbe artériel d'où émane une artère qui se divise en artères branchiales afférentes. Le sang qui y circule est hématosé au niveau des branchies puis est repris par des artères branchiales efférentes avant d'irriguer les organes via une aorte dorsale. Il retourne ensuite au sinus veineux par l'intermédiaire des diverses veines.
L'appareil digestif, ventral, débute par la bouche qui s'ouvre sur un court œsophage. Il débouche dans un intestin terminé par l'anus. Il comporte également un foie plurilobé, associé à une vésicule biliaire, ainsi qu'un pancréas diffus étroitement accolé à l'intestin.
Une vessie gazeuse ou natatoire est présente, reliée à l'œsophage par un canal pneumatique.
L'appareil excréteur est formé de deux reins accolés à la paroi dorsale du corps. Ils sont drainés par deux uretères s'abouchant à une petite vessie ouverte par un pore urinaire.
L'appareil génital est constitué de deux gonades, mâles ou femelles.

Figure 3. L'anatomie du système nerveux central du *Gardon* : un tube nerveux dorsal renflé en encéphale antérieur formé de cinq régions (*vue par la face dorsale*) Le système nerveux central est localisé en position dorsale. À l'avant, dans la tête, il différencie un encéphale constitué d'une région antérieure formée de deux lobes olfactifs, reliés aux bulbes olfactifs par des nerfs olfactifs, et de deux hémisphères cérébraux, l'ensemble constituant le télencéphale. L'épiphyse représente quant à elle la partie dorsale du diencéphale. La région moyenne correspond au mésencéphale composé de deux lobes optiques. Postérieurement, le cervelet relève du métencéphale et le bulbe rachidien du myélencéphale. La moelle épinière leur fait suite. De chacune de ces régions partent des nerfs (nerfs crâniens et nerfs rachidiens) innervant les organes et présentant pour certains une disposition métamérisée.

Le plan d'organisation du *Gardon* est caractéristique des Vertébrés : le corps est divisé en une tête, un tronc et une queue, il porte des appendices locomoteurs pairs. Il présente une symétrie bilatérale nette. Le système nerveux est dorsal par rapport au tube digestif (disposition désignée par le qualificatif d'épineurien) et la moelle épinière court au sein des vertèbres, qui constituent la colonne vertébrale, squelette axial de l'organisme. Cet endosquelette comporte de plus un crâne antérieur, un squelette appendiculaire et un squelette zonal représenté par les ceintures.
Les vertèbres, les nerfs crâniens et la musculature du tronc sont métamérisés.
La présence et la forme des nageoires, ainsi que les écailles, le mode de vie aquatique et la respiration branchiale sont des aspects qui permettent de placer le *Gardon* au sein des Actinoptérygiens.

Copyright © 2015 Dunod.

Les Chordés, des Bilatériens deutérostomiens

FIGURE 1

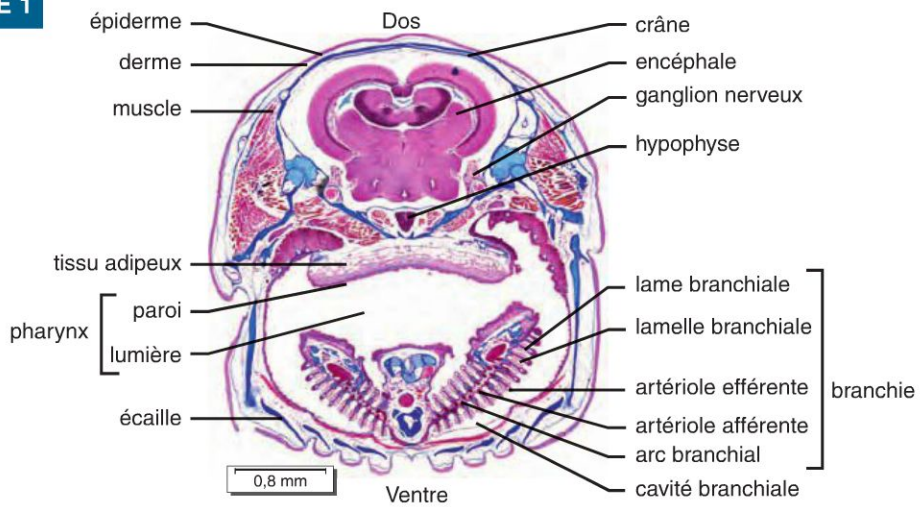


FIGURE 2

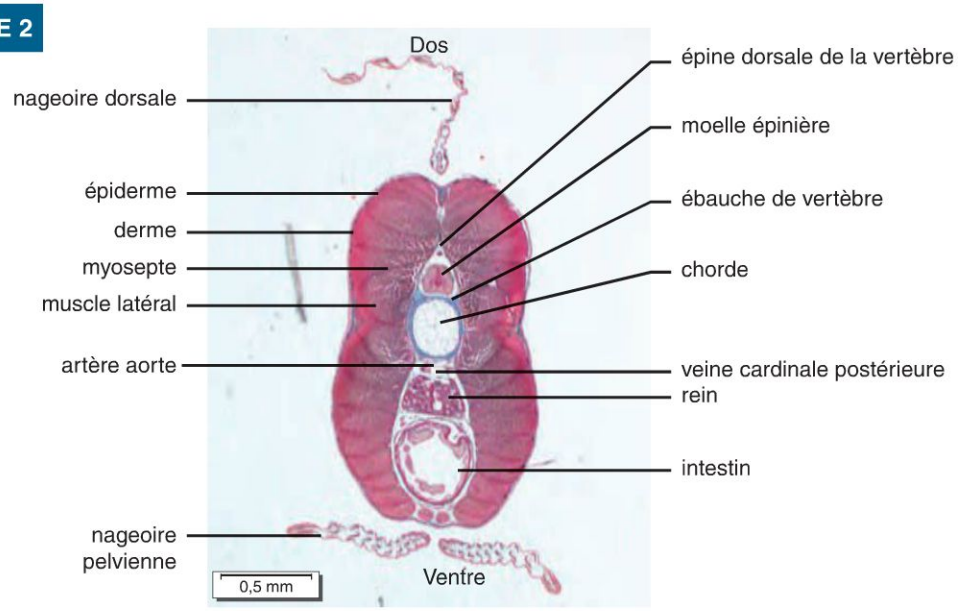
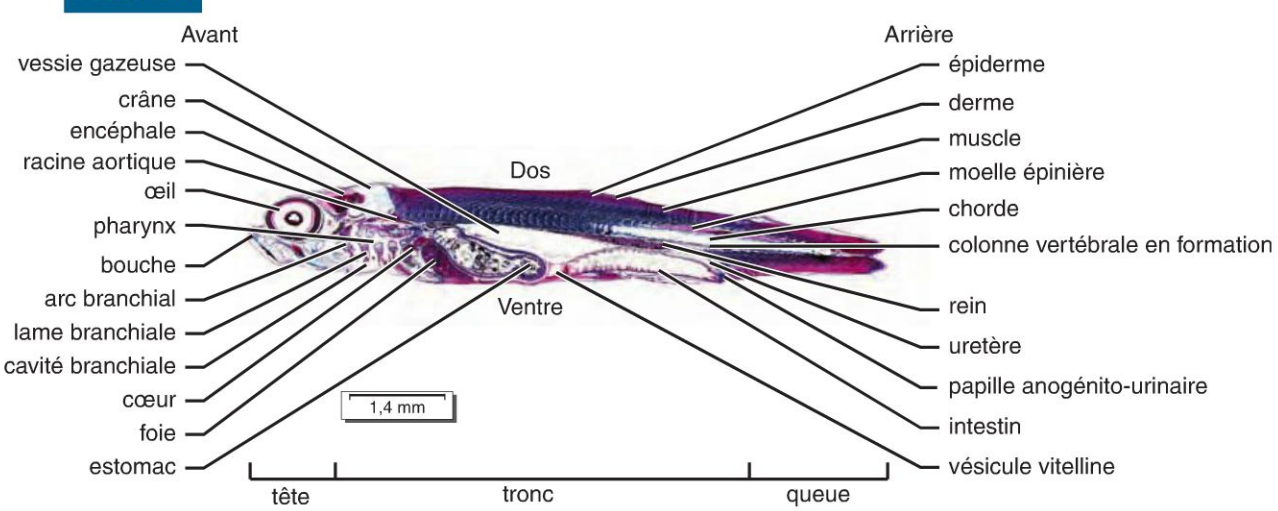


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation du *Vairon* et de la *Truite* par l'histologie

fiche 23

Le *Vairon* et la *Truite* sont deux exemples de Vertébrés permettant d'illustrer quelques aspects du plan d'organisation de ce groupe.

Figure 1. L'anatomie de la région antérieure du *Vairon* : un tube nerveux surmontant un pharynx percé de fentes et une symétrie bilatérale (*coupe transversale, stéréomicroscope*) La paroi corporelle est constituée d'un épiderme pluristratifié surmontant un derme conjonctif au sein duquel sont enchâssées des écailles (fiche 53).
Le système nerveux central représenté par l'encéphale est situé en position dorsale et protégé par le crâne. L'hypophyse lui est rattachée.
Ventralement, le pharynx apparaît percé de fentes branchiales bordées par les branchies. Celles-ci baignent dans la cavité branchiale et sont formées de multiples lames portant des lamelles au niveau desquelles sont réalisés les échanges gazeux (fiche 41). Le sang y est apporté par des artérioles afférentes et en repart dans les artérioles efférentes.
Les organes sont agencés de part et d'autre d'un plan, déterminant une symétrie bilatérale.

La reproduction des Actinoptérygiens est réalisée par voie sexuée. Les gamètes sont le plus souvent émis dans l'eau où a lieu la fécondation. Au cours du développement embryonnaire, le blastopore donne naissance à l'anus ; ces animaux sont en conséquence des deutérostomiens.

L'éclosion libère généralement un juvénile, l'alevin. Une vésicule vitelline, annexe embryonnaire contenant des réserves à fonction métabolique, est portée par l'embryon dans l'œuf. Elle persiste chez l'alevin pendant les premières heures de vie libre.

Figure 2. L'anatomie de la région postérieure de l'alevin de *Truite* : un tube nerveux surmontant une chorde et un tube digestif, associés à une symétrie bilatérale (*coupe transversale, stéréomicroscope*) Sous l'épiderme pluristratifié et le derme, la musculature métamérisée est visible.
Le système nerveux central est représenté par la moelle épinière, creusée d'une lumière. Elle constitue le tube nerveux dorsal.
Il surmonte un axe squelettique correspondant à la chorde. Lors de la croissance elle disparaît, remplacée par le corps des vertèbres.
Les reins, constitués de néphrons, sont localisés sous la chorde et l'intestin est en position ventrale.

Figure 3. L'anatomie de l'alevin de *Truite* : des polarités antéro-postérieure et dorso-ventrale (*coupe sagittale, stéréomicroscope*) Le corps de l'alevin est formé de trois régions : la tête antérieure, le tronc médian et la queue postérieure.
L'appareil respiratoire est représenté par des branchies baignant dans des cavités branchiales latérales fermées par les opercules. Elles sont constituées de lames, supportées par des arcs branchiaux formés par la paroi pharyngienne, percée de fentes branchiales (fiche 41).
L'appareil circulatoire, clos, est composé d'un cœur ventral d'où émane une aorte ventrale acheminant le sang aux branchies au niveau desquelles il est oxygéné. Drainé par des racines aortiques dorsales, il est ensuite distribué dans l'organisme avant de retourner au cœur grâce à un ensemble de veines.
L'appareil digestif ventral est formé d'un tube digestif (bouche, œsophage, estomac, intestin, anus) associé à des glandes digestives (foie, pancréas).
Une vessie gazeuse est observée, également appelée vessie natatoire.
L'excrétion est réalisée par l'appareil excréteur formé de deux reins dorsaux drainés par des uretères aboutissant à une vessie ouverte sur l'extérieur par un pore urinaire.
Le système nerveux central est situé en position dorsale. Il est constitué d'un encéphale antérieur, protégé par un crâne, et d'une moelle épinière postérieure localisée dans la colonne vertébrale. Cette dernière est formée chez l'alevin à l'emplacement de l'axe squelettique embryonnaire, la chorde.

La présence de la chorde chez le juvénile et la possession d'un pharynx percé de fentes (pharyngotrémie) attestent de l'appartenance des Actinoptérygiens au taxon des Chordés, Eumétazoaires bilatériens.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

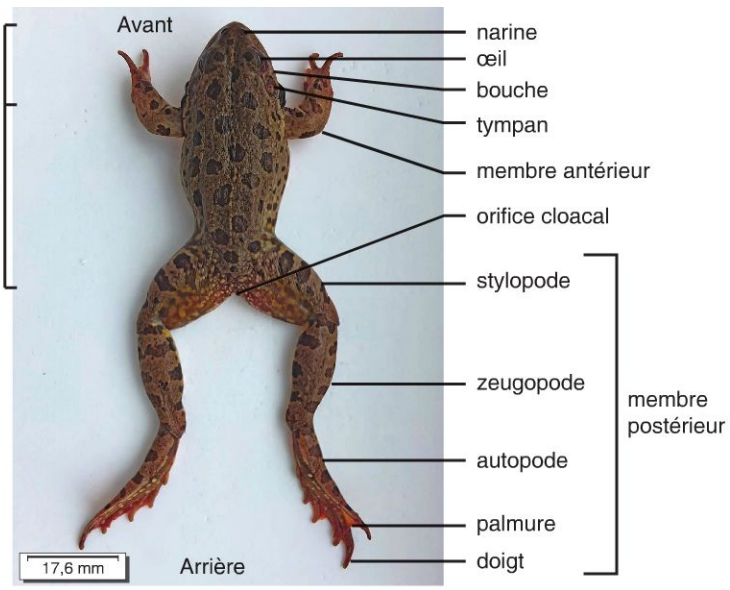
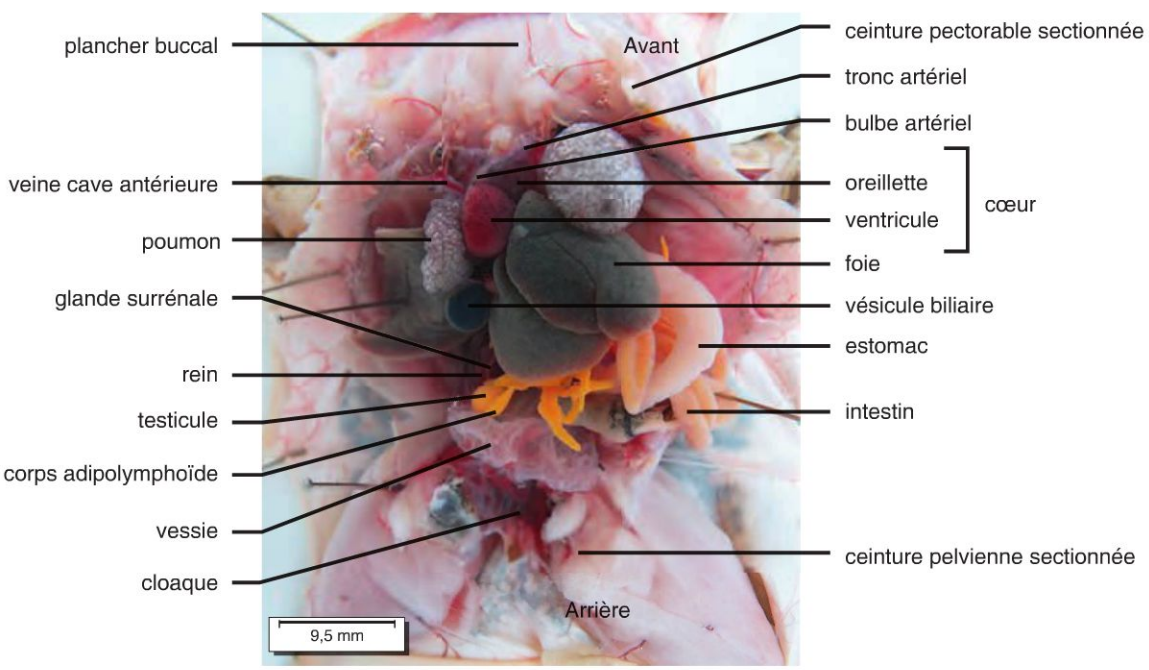


FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de la *Grenouille* par la dissection

fiche 24

La *Grenouille* constitue un second exemple de Vertébré, fréquentant à la fois le milieu aquatique et le milieu terrestre.

Figure 1. La morphologie de la *Grenouille* : un corps formé d'une tête et d'un tronc, portant deux paires de membres et présentant une symétrie bilatérale (*vue par la face dorsale*) Le corps est divisé en une tête portant la bouche, les yeux munis de paupières, les narines, les tympans, et un tronc muni de deux paires de pattes, antérieure et postérieure. La présence de ces appendices, composés de trois segments appelés stylopode, zeugopode et autopode, est caractéristique des Vertébrés tétrapodes. La queue est vestigiale. L'animal présente une symétrie bilatérale nette.

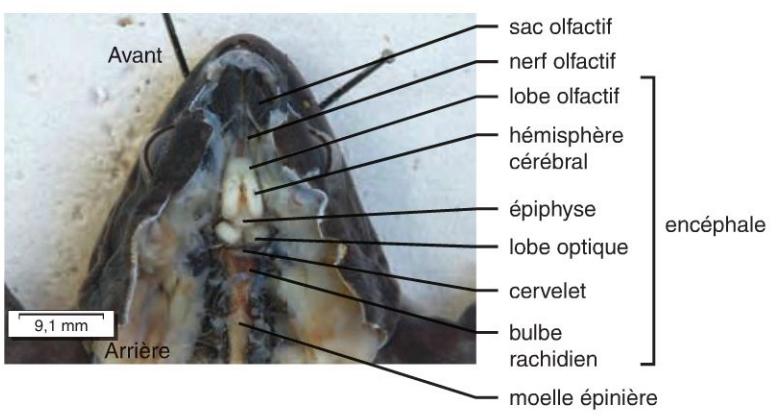
Figure 2. L'anatomie de la *Grenouille* : une symétrie bilatérale et un appareil respiratoire pulmonaire adapté à une respiration aérienne (*vue par la face ventrale*) L'appareil respiratoire est représenté par deux poumons lisses, localisés dans la région antérieure et communiquant avec la cavité buccale. L'appareil circulatoire est formé d'un cœur ventral enveloppé dans un péricarde, et constitué d'un sinus veineux, de deux oreillettes et d'un unique ventricule prolongé par un bulbe artériel. Le sang expulsé par le ventricule s'engage soit dans la circulation pulmonaire avant de retourner à l'oreillette gauche, soit dans la circulation systémique avant de rejoindre l'oreillette droite via le sinus veineux.
L'appareil digestif est ventral et comporte, de la bouche à l'anus, l'œsophage débouchant dans l'estomac, puis l'intestin terminé par le rectum. Y sont associés un foie plurilobé muni d'une vésicule biliaire et un pancréas.
L'appareil excréteur est représenté par deux reins dorsaux drainés par deux uretères ouverts sur le cloaque (fiche 48). À ce niveau une vessie membraneuse est présente.
Deux gonades composent l'appareil génital (ovaires chez la femelle, testicules chez le mâle). Les gamètes sont pris en charge par des conduits (oviductes puis utérus chez la femelle, spermiductes se confondant avec une partie des uretères chez le mâle) débouchant dans le cloaque.

Figure 3. L'anatomie du système nerveux central de la *Grenouille* : un tube nerveux dorsal renflé en encéphale antérieur formé de cinq régions (*vue par la face dorsale*) La localisation du système nerveux est dorsale, l'animal est épineurien. L'encéphale antérieur comprend d'avant en arrière deux lobes olfactifs et deux hémisphères cérébraux formant le télencéphale, une épiphyse représentant le diencéphale, deux lobes optiques correspondant au mésencéphale, un cervelet relevant du métencéphale et un bulbe rachidien ou myélencéphale (fiche 66). La moelle épinière lui fait suite, logée dans les vertèbres.

La reproduction de la *Grenouille*, réalisée par voie sexuée, implique une fécondation externe en milieu aquatique. Chez cet animal deutérostomien, l'éclosion libère une larve aquatique, le têtard.
De forme globuleuse, le corps du têtard possède une queue postérieure munie d'une nageoire et à vocation locomotrice, mais ne porte pas de membres. La région antérieure est caractérisée par la présence des yeux dorsaux et de la bouche ventrale, entourée d'un bec corné.

À la différence de celle de l'adulte, la respiration est réalisée par des branchies mais elles coexistent fréquemment avec des ébauches de poumons. Le cœur propulse le sang dans des vaisseaux artériels se capillarisant dans l'appareil branchial.
Si le tube digestif est peu régionalisé, long et spiralé en relation avec le régime alimentaire herbivore du têtard, les glandes digestives diffèrent peu de celles de l'adulte. Il en va de même pour l'appareil excréteur. Des ébauches de gonades sont également présentes.
Le développement post-embryonnaire est marqué par une métamorphose au cours de laquelle le têtard perd ses caractères larvaires et acquiert les attributs juvéniles, tout en changeant de milieu de vie.

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

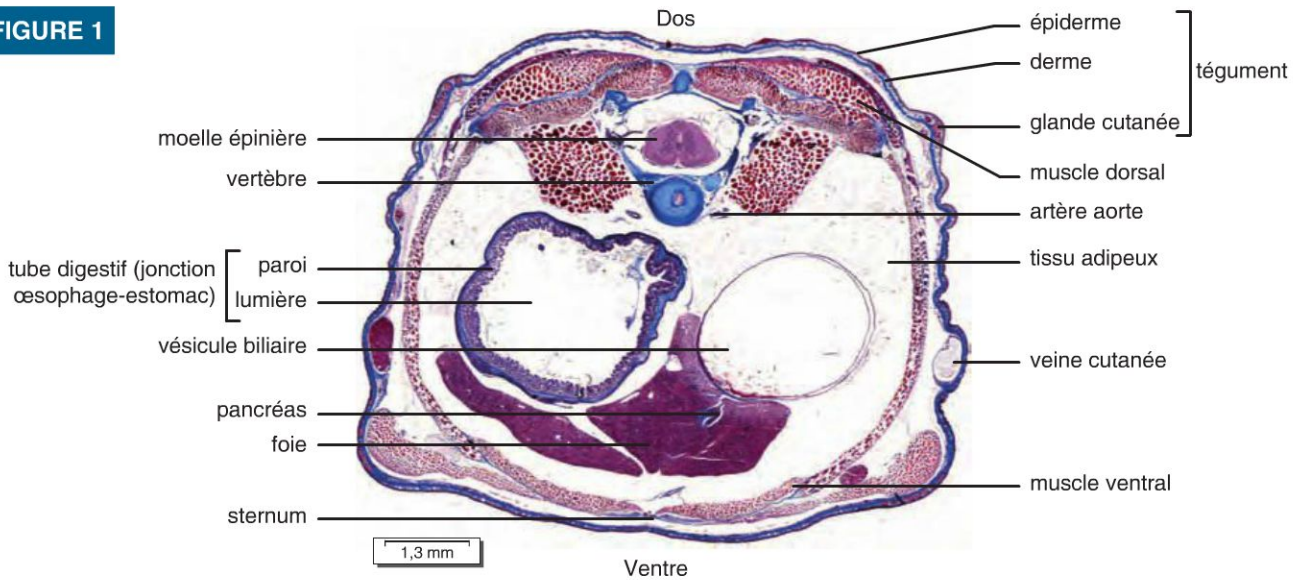


FIGURE 2

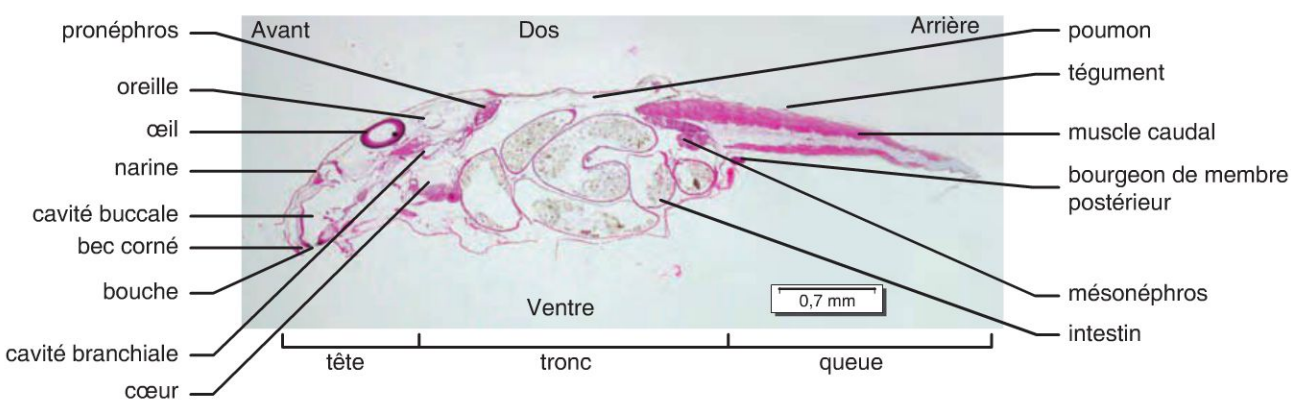
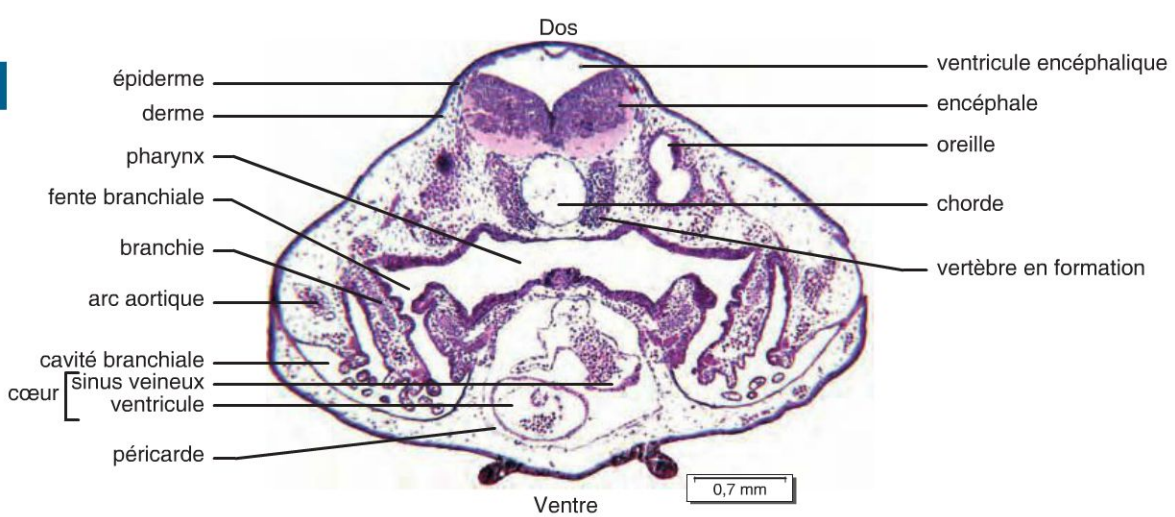


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de la *Grenouille* par l'histologie

fiche 25

L'exemple de la *Grenouille* fournit une illustration du plan d'organisation des Vertébrés et de ses variations à travers le juvénile et l'adulte vivant en milieu terrestre, et le têtard, forme larvaire fréquentant le milieu aquatique.

Figure 1. L'anatomie de la région antérieure de la *Grenouille* : un tube nerveux protégé par la colonne vertébrale surmontant un tube digestif et une symétrie bilatérale (*coupe transversale, stéréomicroscope*) Le tégument est constitué d'un épiderme pluristratifié légèrement kératinisé, différenciant des glandes séreuses et muqueuses enfoncées dans le derme sous-jacent (fiche 53).
Dorsalement court le tube nerveux représenté par la moelle épinière, entouré des vertèbres constituant la colonne vertébrale, et surmontant le tube digestif ventral. En position intermédiaire, les aortes issues du ventricule cardiaque acheminent le sang vers les organes de la région postérieure.
La localisation dorsale du système nerveux est caractéristique des animaux épineuriens. L'agencement des organes révèle l'existence d'une symétrie bilatérale.

Figure 2. L'anatomie du têtard de *Grenouille* : des polarités antéro-postérieure et dorso-ventrale (*coupe sagittale, stéréomicroscope*) Le corps de l'animal est recouvert d'un épiderme pluristratifié, fin, dépourvu de kératine et ne développant pas de structure glandulaire pluricellulaire dans le derme sous-jacent.
La tête porte la bouche, munie d'un bec corné, et les organes sensoriels (yeux, narines, oreilles).
La cavité buccale est ouverte sur un œsophage prolongé par l'intestin, qui occupe une grande partie du tronc et dont la paroi est peu épaisse.
La cavité branchiale est visible, de même que le cœur et les ébauches de poumons.
Les reins sont en position dorsale, représentés dans la région antérieure par le pronéphros (rein embryonnaire) et dans la région postérieure par le mésonéphros (rein adulte) (fiche 48).
À la jonction entre le tronc et la queue, en position ventrale, un bourgeon de membre postérieur est parfois observé.

Figure 3. L'anatomie de la région antérieure du têtard de *Grenouille* : un tube nerveux surmontant un pharynx percé de fentes et une symétrie bilatérale (*coupe transversale, stéréomicroscope*)
Dorsalement, le tube nerveux est visible, représenté par l'encéphale renflé, protégé par le crâne.
Il surmonte un axe squelettique formé de cellules turgescentes, correspondant à la chorde. La colonne vertébrale est formée à la place de cette structure notamment.
Le tube digestif est localisé en position ventrale. Dans la région antérieure, il est représenté par le pharynx de part et d'autre duquel les branchies sont observées. Insérées sur des arcs branchiaux, elles sont formées d'axes portant des filaments. Le cœur propulse le sang dans une aorte ventrale émettant des ramifications dans chaque arc branchial où elles se capillarisent. Le sang est drainé par des arcs aortiques qui convergent en racines aortiques acheminant le sang dans le corps.
Certaines structures observées sont propres à la larve, comme les branchies, d'autres sont communes à la larve et à l'adulte comme le tégument. À terme, le têtard subit une métamorphose, ensemble de transformations morpho-anatomiques, physiologiques, cellulaires et moléculaires, qui le transforme en un individu juvénile semblable à l'adulte bien que sexuellement immature.

De même que les Actinoptérygiens, la *Grenouille* présente des caractères de Vertébrés : corps à symétrie bilatérale, divisé en trois parties (la queue est vestigiale), muni d'appendices locomoteurs pairs. En l'occurrence, il s'agit de pattes constituées de trois régions (autopode, zeugopode et stylopode) et qualifiées de membres chiridiens, caractéristiques des Tétrapodes. Le système nerveux est dorsal ; le squelette est interne et comprend une colonne vertébrale.
À la différence du *Gardon*, cet animal possède un tégument nu, maintenu humide grâce à la sécrétion de mucus, et peut mener une vie terrestre. Il appartient au groupe des Lissamphibiens.
À l'instar du têtard de Grenouille, la larve des Lissamphibiens révèle certains caractères spécifiques des Chordés présents dans le groupe : chorde dorsale, située au-dessus du tube digestif, fentes branchiales pharyngiennes (pharyngotrémie). Ces animaux, comme les Actinoptérygiens, sont des Eumétazoaires bilatériens deutérostomiens épineuriens.

Copyright © 2015 Dunod.

Les Chordés, des Bilatériens deutérostomiens

FIGURE 1

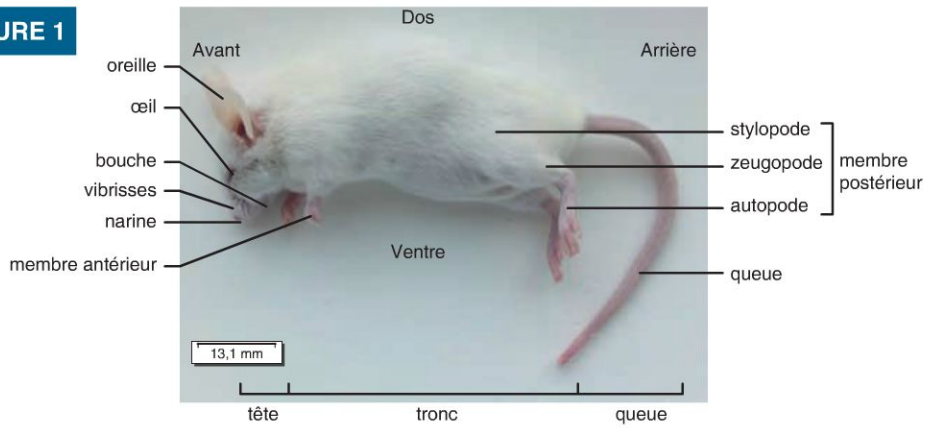


FIGURE 2

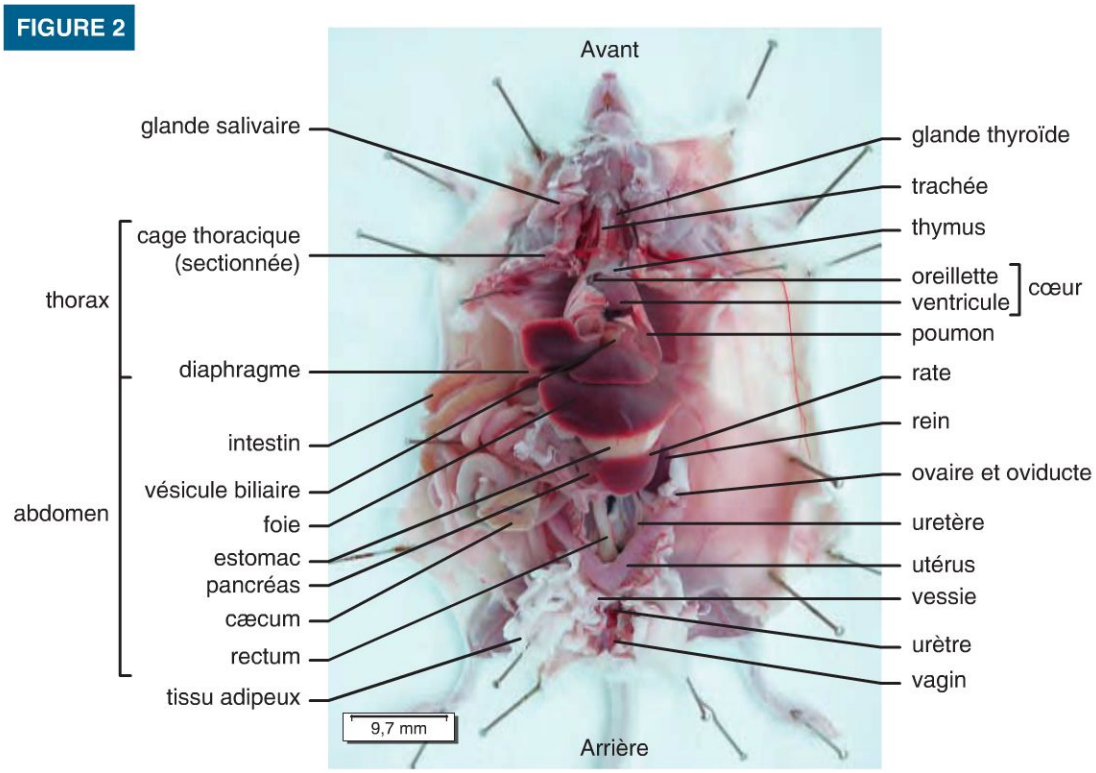
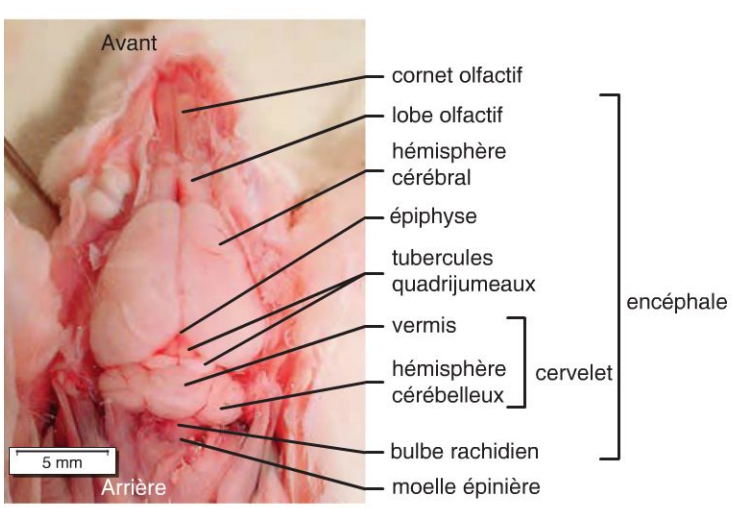


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de la *Souris* par la dissection

fiche 26

La *Souris* est un dernier exemple de Vertébré, vivant en milieu terrestre et représentant le groupe des Mammifères.

Figure 1. La morphologie de la *Souris* : un corps formé d'une tête, d'un tronc et d'une queue, portant deux paires de membres et à symétrie bilatérale (*vue latérale*) Le corps, marqué par une symétrie bilatérale, est formé de trois parties : la tête portant les organes sensoriels (yeux, oreilles, narines, vibrisses) et la bouche, le tronc séparé de la précédente par un cou et muni de quatre membres dressés et chiridiens (composés de trois segments, le zeugopode, le stylopode et l'autopode), la queue. Il est couvert d'un pelage formé de phanères épidermiques, les poils (fiche 52).
Chez la femelle des glandes mammaires (fiche 89) sont visibles, au nombre de cinq paires chez la *Souris*.

Figure 2. L'anatomie de la *Souris* : un thorax et un abdomen présentant une symétrie bilatérale (*vue par la face ventrale*) Le tronc est constitué de deux régions, le thorax et l'abdomen, délimitées par le diaphragme.
Le thorax, protégé par la cage thoracique formée de côtes, est occupé par l'appareil respiratoire composé de deux poumons alvéolaires (fiche 43) communiquant avec la trachée par des bronches. Il contient également le cœur constitué de deux oreillettes et deux ventricules, permettant la réalisation d'une double circulation (circulation pulmonaire entre le ventricule droit et l'oreillette gauche, circulation systémique entre le ventricule gauche et l'oreillette droite) (fiche 72).
L'appareil digestif comporte un œsophage thoracique qui traverse le diaphragme et débouche dans l'estomac abdominal (fiches 32, 33). Celui-ci est ouvert sur l'intestin grêle suivi du côlon, et au niveau du rectum s'abouche à l'anus (fiche 34). Le foie, la vésicule biliaire et le pancréas diffus sont localisés dans la partie antérieure de l'abdomen (fiche 35).
L'appareil excréteur, dorsal, est formé de deux reins massifs drainés chacun par un uretère débouchant dans la vessie (fiche 47). Un canal évacuateur impair, l'urètre, achemine l'urine vers l'orifice urinaire.
L'appareil génital du mâle est formé de deux testicules drainés par les épididymes puis les spermiductes (fiche 78). Les sécrétions de glandes annexes (vésicules séminales, glandes coagulantes, prostates) ajoutées aux spermatozoïdes constituent le sperme. Celui-ci chemine dans un urospermiducte et est émis dans les voies génitales femelles par l'intermédiaire du pénis, organe copulateur (fiches 84, 85).
La femelle possède deux ovaires (fiche 77). Les ovules qu'ils produisent sont pris en charge par deux oviductes dans lesquels a lieu la fécondation. Les embryons se développent dans l'utérus formé de deux cornes, de telles conditions de développement définissent la viviparité (fiche 83). À terme, des juvéniles sont libérés lors de la mise bas.

Figure 3. L'anatomie du système nerveux central de la *Souris* : un tube nerveux dorsal renflé à l'avant en un encéphale formé de cinq régions (*vue par la face dorsale*) Situé en position dorsale, le système nerveux différencie un encéphale antérieur protégé par le crâne. Il est constitué de deux lobes olfactifs, de deux hémisphères cérébraux très développés masquant partiellement l'épiphyse et les tubercules quadrijumeaux (lobes optiques), du cervelet et du bulbe rachidien. Les lobes olfactifs et les hémisphères cérébraux composent le télencéphale, l'épiphyse correspond à la région dorsale du diencéphale, les tubercules quadrijumeaux représentent le mésencéphale, le cervelet constitue le métencéphale (fiche 66) et le bulbe rachidien le myélencéphale.
Il est en continuité avec la moelle épinière postérieure, protégée par les vertèbres.

La *Souris*, comme le *Gardon* et la *Grenouille*, est caractérisée par la présence d'une symétrie bilatérale, une organisation corporelle en trois parties, la possession d'une colonne vertébrale, d'un système nerveux dorsal et d'un squelette interne. Elle appartient au groupe des Vertébrés. Ses quatre pattes marcheuses bâties sur le plan du membre chiridien sont typiques des Tétrapodes.
Les poils et les glandes mammaires sont quant à eux des caractéristiques des Mammifères, qui les distinguent des Actinoptérygiens et des Lissamphibiens. Il en va de même pour leur appareil circulatoire, déterminant une double circulation, et leur appareil respiratoire.
Le développement embryonnaire de la *Souris* est réalisé au sein de l'organisme maternel, et implique la mise en place d'un placenta, organe d'échanges entre l'embryon et la mère, en conséquence cette espèce est un représentant des Mammifères euthériens.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

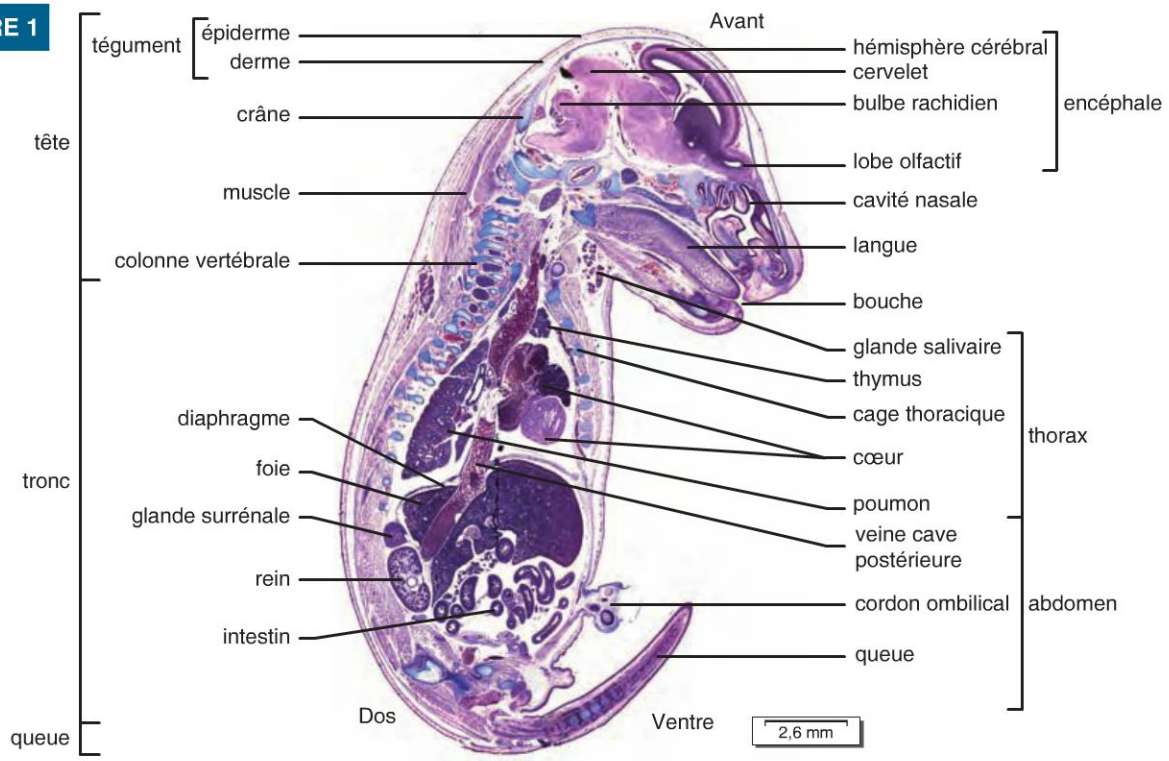
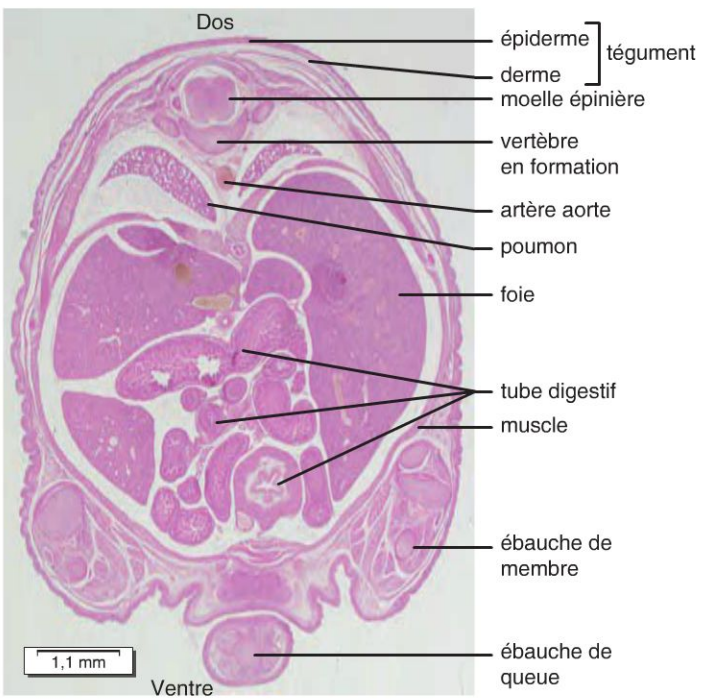


FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

Le plan d'organisation de la *Souris* par l'histologie ; aperçu de la diversité des Chordés

fiche 27

L'exemple de la *Souris* permet d'illustrer le plan d'organisation des Mammifères au sein des Vertébrés.

Figure 1. L'anatomie du fœtus de *Souris* au terme du développement : des polarités antéro-postérieure et dorso-ventrale (*coupe sagittale, stéréomicroscope*) Le corps est recouvert d'un tégument constitué d'un épiderme pluristratifié kératinisé surmontant un derme conjonctif. Le système nerveux est situé en position dorsale. Il est renflé à l'avant en un encéphale et se poursuit dans le tronc par la moelle épinière. Il est protégé par des structures squelettiques, crâne antérieur et colonne vertébrale postérieure. L'appareil digestif occupe une position ventrale, de même que l'appareil circulatoire avec le cœur. Le tronc est divisé en un thorax antérieur et un abdomen postérieur, le diaphragme matérialisant la limite entre ces compartiments. La paroi thoracique est constituée par la cage thoracique formée de côtes, alors que la paroi abdominale est musculaire.

Figure 2. L'anatomie de l'embryon de *Souris* : un tube nerveux surmontant le tube digestif et une symétrie bilatérale. *Coupe transversale, stéréomicroscope.* L'embryon est caractérisé par la présence de trois feuillets embryonnaires (ectoderme, mésoderme, endoderme) à l'origine des divers organes. En particulier, le mésoderme forme une chorde dorsale, premier axe squelettique du corps, remplacée ensuite par les vertèbres. Le blastopore qui apparaît lors de la gastrulation ne donne pas naissance à la bouche mais marque l'emplacement de l'anus, processus caractéristique des animaux deutérostomiens.

Les Vertébrés constituent un groupe de Chordés homogène. Eumétazoaires bilatériens deutérostomiens et épineuriens, ils possèdent un corps divisé en trois parties, des membres locomoteurs pairs, une colonne vertébrale, un endosquelette. Les caractères de Chordés souvent masqués chez l'adulte sont à rechercher chez l'embryon ou la larve (chorde, pharyngotrémie). Le cœlome est réduit aux cavités péricardique, péritonéale et pleurale, et la métamérie limitée aux nerfs crâniens, aux vertèbres et à la musculature.

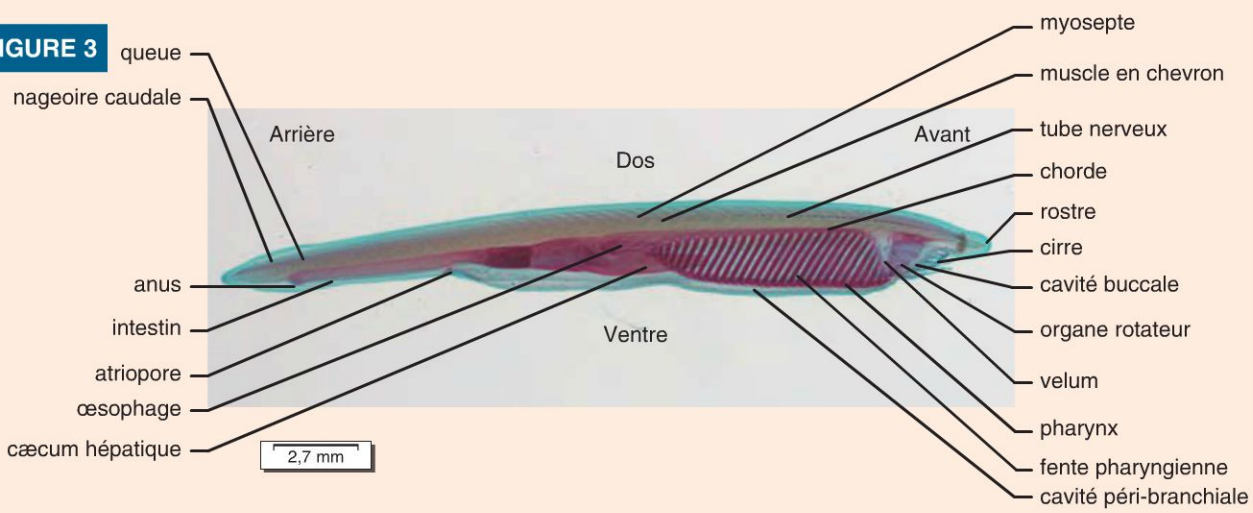
Diversité des Chordés

Le taxon des Chordés comporte les Vertébrés, les Céphalochordés et les Urochordés. Il s'agit d'animaux marins menant une vie libre, au contact du fond (*Amphioxus,* Céphalochordé), au sein du plancton (Thaliacés, Urochordés), ou une vie fixée (Ascidies, Urochordés).

Figure 3. La morphologie et l'anatomie de l'*Amphioxus* : un animal épineurien et pharyngotrème (*montage* in toto*, stéréomicroscope*) Le corps est allongé et aplati latéralement. Il est formé d'une région antérieure dépourvue de tête, et d'une queue postérieure. À l'avant, la bouche est ouverte sur une cavité communiquant avec un volumineux pharynx percé de fentes branchiales parallèles, entouré d'une cavité péribranchiale débouchant sur l'extérieur par un atriopore. Le tube digestif est surmonté d'une baguette dorsale courant du rostre à l'extrémité caudale, la chorde, et du système nerveux. Sur toute la longueur du corps, les muscles, séparés par des cloisons conjonctives, ont une disposition métamérisée.

Les Chordés sont caractérisés par la possession d'une chorde dorsale constituant un axe squelettique, d'un tube nerveux dorsal (épineurien) et d'un pharynx percé de fentes (pharyngotrémie).

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Calcisonges
Sycon
spicules calcaires

Silicisponges
Euspongia
spicules siliceux

Hydrozoaires
Hydre d'eau douce
cycle avec polype et méduse, symétrie d'ordre 6

Scyphozoaires
Aurelia
cycle avec méduse seule, symétrie d'ordre 6

Anthozoaires
Anémone de mer
cycle avec polype seul, symétrie d'ordre 4 ou 8

Porifères
choanocytes, choanoderme et pinacoderme, spicules squelettiques dans un mésohyle

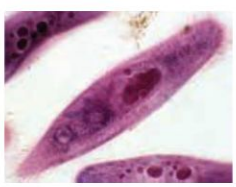
Méduzozoaires
cycle avec alternance de phases polype et méduse

Cnidaires
cnidocytes, ectoderme et endoderme, mésoglée, larve ciliée (planula)

Eumétazoaires
lame basale, jonctions ouvertes, endoderme digestif, système nerveux avec synapses chimiques

Bilatériens
symétrie bilatérale, axes antéro-postérieur et dorso-ventral, mésoderme, tube digestif avec bouche et anus

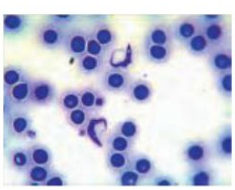
Métazoaires
collagène, matrice extracellulaire, desmosomes cellules ciliées



Alvéolobiontes
Paramécie, Vorticelle
alvéoles sous-membranaires

Opisthocontes
flagelle unique et postérieur, mitochondries à crêtes plates, glycogène

Eucaryotes
noyau, cytosquelette, flagelles, système endo-membranaire, mitochondries

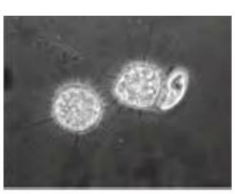


Excavobiontes
Trypanosome excavation (ampoule) d'où émergent les flagelles

Vertébrés
encéphale protégé par un crâne, organes sensoriels dérivés de placodes épidermiques

Sarcoptérygiens
insertion monobasale des membres pairs

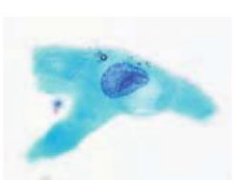
Actinoptérygiens
insertion pluribasale des nageoires



Rhizariens
Cercozoaire
pseudopodes, caractères moléculaires

Tétrapodes
2 paires de membres chiridiens avec doigts, vertèbres cervicales (cou)

Amniotes
annexe embryonnaire assurant le développement dans un milieu aqueux (amnios)



Amibozoaires
Amibe
caractères moléculaires

Mammifères
Souris
glandes mammaires, poils avec muscles érecteurs et glandes sébacées

Lissamphibiens
Grenouille
vie en milieu humide ou amphibie

Téléostéens
Gardon, Truite
nageoire caudale symétrique à squelette asymétrique

Copyright © 2015 Dunod.

Protostomiens
(pages suivantes)

Deutérostomiens
bouche formée secondairement, entéroccœlie, squelette interne

Chordés
tube nerveux dorsal, axe squelettique embryonnaire sous le tube nerveux

Échinodermes
squelette dermique interne, appareil ambulacraire, symétrie d'ordre 5, système nerveux sous ectodermique

Céphalochordés
Amphioxus – bouche avec vestibule, cirres et organe rotateur, chorde prolongée antérieurement, musculature segmentée

Holothurides
pieds ambulacraires en tentacules, madréporite interne

Échinides
Oursin
plaques squelettiques soudées en test, lanterne d'Aristote

Astérides
Étoile de mer
disque central et 5 bras à large base, madréporite aboral

Copyright © 2015 Dunod.

1 Éléments de classification et plans d'organisation

Clitellates
Lombric, Sangsue
clitellum, hermaphrodisme,
soies rares ou absentes

Polychètes
Nereis
gonochorisme,
soies nombreuses

Annélides
métamérie, soies,
appareil circulatoire clos
(larve trochophore)

Bivalves
Moule
coquille à deux valves,
branchies en lames, pied en
hache, glande byssogène

Gastéropode
Escargot – coquille
spiralée, pied en sole de
reptation, torsion et rotation
de la masse viscérale

Céphalopodes
Seiche
coquille réduite,
pied en tentacules et siphon
céphalisation poussée

Eumollusques
pied, cavité palléale
avec branchies, manteau
produisant une coquille
radula (larve véligère)

Lophotrochozoaires
caractères moléculaires
(lophophore ou
larve trochophore)

Protostomiens
blastopore formant bouche
et anus, schizocœlie,
système nerveux ventral

Euarthropodes
métamérie, tagmes,
corps et appendices
entourés d'une cuticule
articulée

Mandibulates
(Antennates)
mandibules et antennes,
caractères moléculaires

Pancrustacés
larve nauplius,
thorax et abdomen,
caractères moléculaires

Hexapodes
thorax à 3 métamères,
3 paires de pattes
thoraciques

Insectes
Criquet
pièces buccales externes,
tarse segmenté

Malacostracés
Écrevisse
thorax à 8 métamères,
abdomen à 7 métamères,
antennules biramées

Branchiopodes
Daphnie
maxilles réduites

Myriapodes
Lithobie
tronc, appareil respiratoire
trachéen

Copyright © 2015 Dunod.

Turbellariés
Planaire
ciliature épidermique,
larve de Müller, vie libre

Trématodes
Petite Douve
ventouses, tube digestif
simple, vie parasitaire

Cestodes
Ténia échinocoque
ventouses,
tube digestif absent,
vie parasitaire

Plathelminthes
tube digestif à un orifice,
mésenchyme avec cellules
de régénération,
hermaphrodisme

Ecdysozoaires
cuticule en 3 couches
contenant de la chitine,
absence de ciliature,
croissance par mues

Chélicériformes
chélicères,
prosome (céphalothorax)
et opisthosome (abdomen)

Nématoïdes
cuticule avec
collagène, musculature
circulaire réduite, pseudo-
cœlome, spermatozoïdes
sans flagelle

Arachnides
Araignée
appareil respiratoire
trachéen et/ou pulmonaire,
filières ou peignes

Mérostomes - *Limule*
appendices locomoteurs et
masticateurs (prosome),
branchiaux (opisthosome),
telson en aiguillon

Nématodes
Ascaris
rénettes excrétrices, bouche
entourée de sensilles
et chémorécepteurs

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 2

FIGURE 3

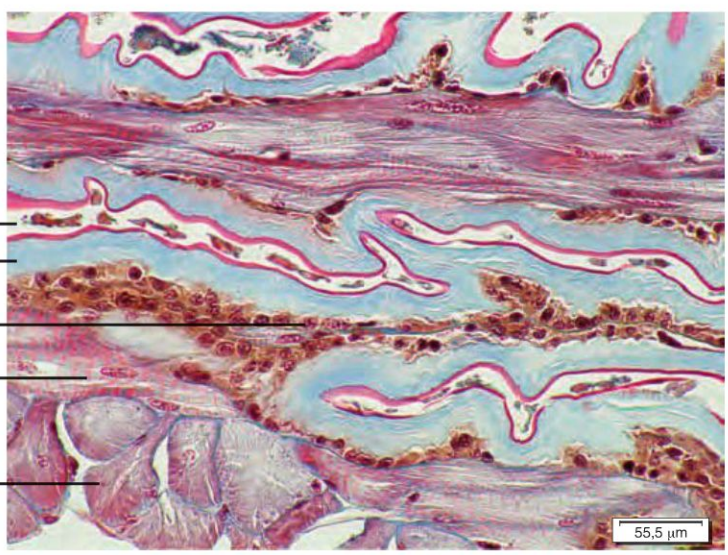


FIGURE 4

Copyright © 2015 Dunod.

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 et la région antérieure du tube digestif. L'exemple du *Criquet* permet d'illustrer ces aspects chez les Insectes.

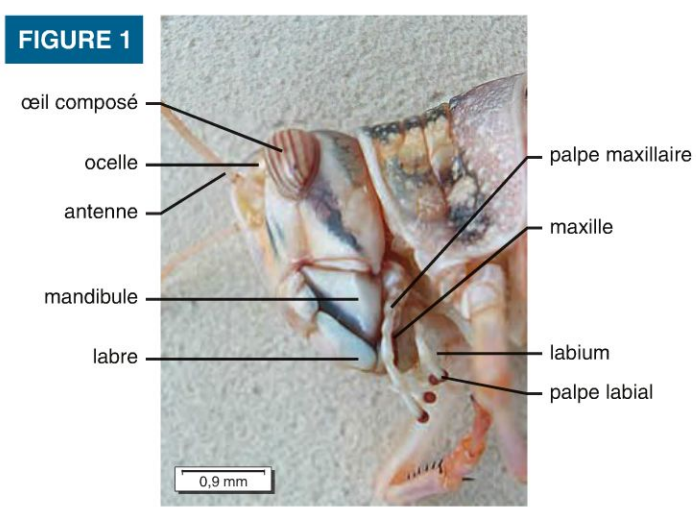
Figure 1. Les pièces buccales de type broyeur du *Criquet* : des appendices pour la préhension et le broyage des aliments (*vue externe latérale de la tête*) Les Insectes possèdent en association avec la bouche un ensemble de pièces chitineuses articulées avec la capsule céphalique. Il est composé d'une 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).

Figure 2. Les pièces buccales de type broyeur du *Criquet* : des appendices adaptés à un régime composé d'aliments solides (*montage* in toto *de tête, stéréomicroscope*) Chez le *Criquet*, Insecte phytophage, ainsi que chez les espèces omnivores, les mandibules sont massives et munies de processus tranchants et broyeurs mais dépourvues de palpes. Les maxilles présentent un palpe sensoriel externe et des régions à rôle masticateur (lacinia et galéa). Le labium comporte une base sur laquelle sont insérées des glosses et des paraglosses ainsi des palpes latéraux.
Les aliments sont poussés vers la bouche par le labre et le labium puis 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.

Figure 3. Le jabot du *Criquet* : une poche de stockage de la nourriture (*coupe longitudinale, microscope photonique*) L'œsophage fait suite à la cavité buccale et au pharynx (fiche 15). Il est caractérisé par la présence d'une cuticule et de fibres musculaires principalement circulaires. Il présente souvent une poche capable de dilatation du fait des replis de sa paroi, le jabot. Elle permet d'emmagasiner une grande quantité de nourriture et peut être le siège d'un début de digestion.

Figure 4. Le gésier du *Criquet* : une chambre de broyage des aliments (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Le tube digestif antérieur est terminé par un organe de broyage des aliments, le gésier (fiche 15). 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.

FIGURE 1



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

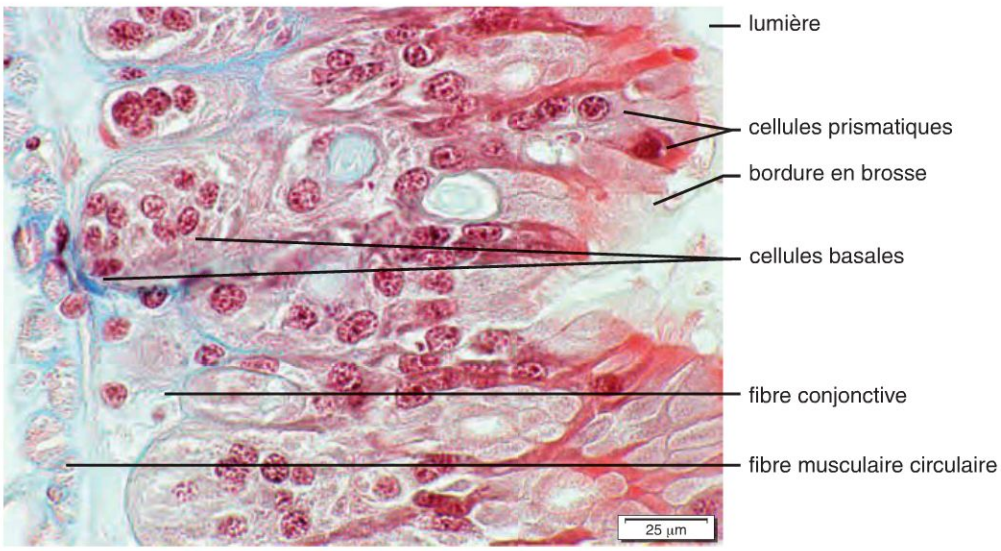


FIGURE 2

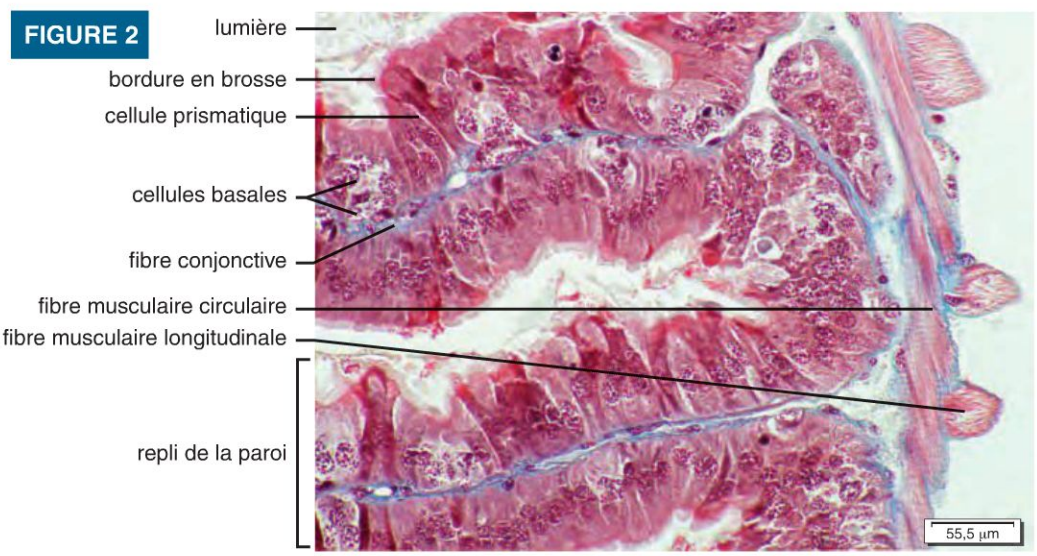
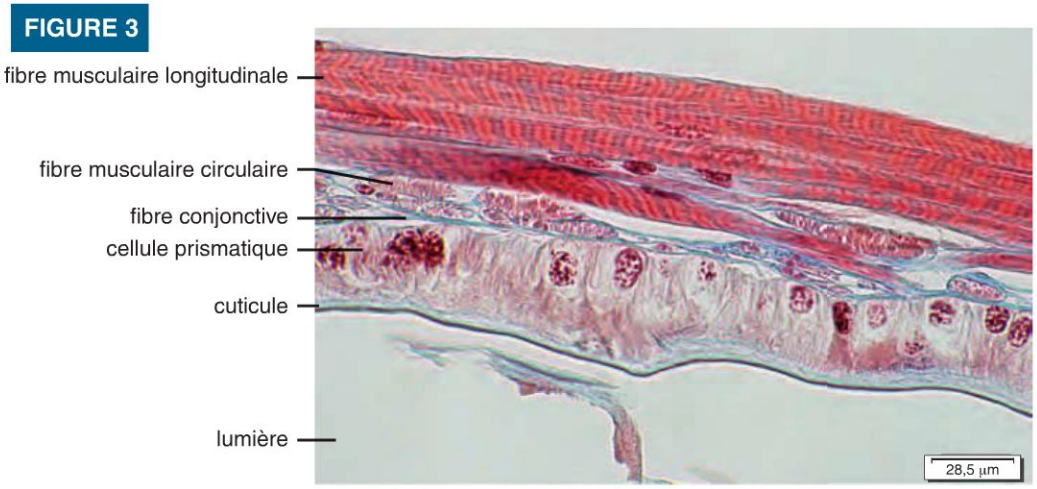


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

De la digestion à l'absorption chez les Insectes

Dans les régions moyenne et postérieure du tube digestif interviennent les étapes de digestion (dégradation enzymatique des aliments conduisant à la transformation des macromolécules qui les composent en petites molécules assimilables) et d'absorption (passage de ces petites molécules de la lumière du tube digestif à l'organisme). Le cas du *Criquet* en fournit un exemple (fiche 15).

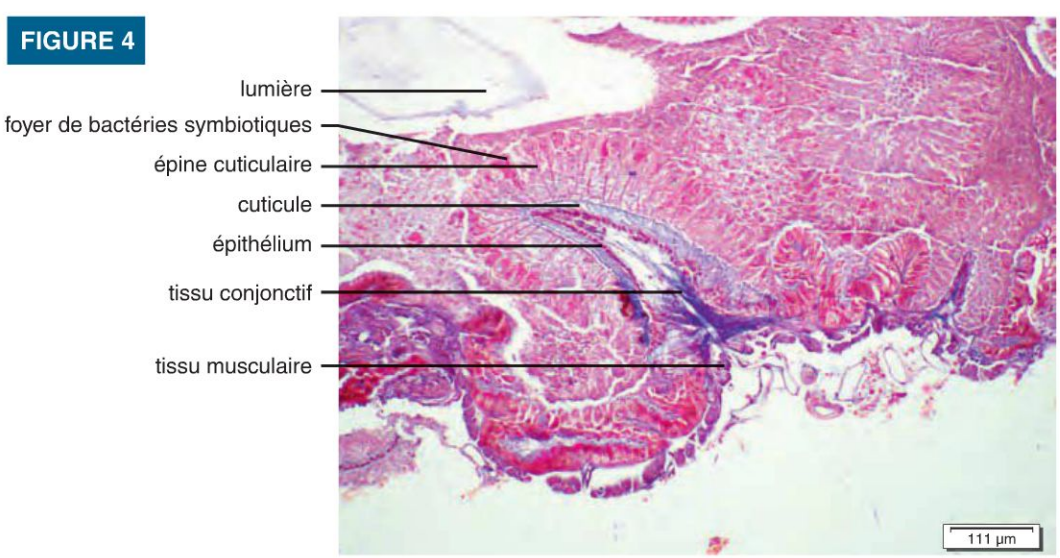
Figure 1. L'estomac du *Criquet* : un tube impliqué dans la digestion des aliments et l'absorption des molécules assimilables (*coupe longitudinale, microscope photonique*) La paroi de l'estomac forme des replis. Elle est bordée d'un épithélium simple et prismatique, muni d'une bordure en brosse. Il repose sur une tunique musculeuse comprenant des fibres circulaires et des fibres longitudinales.
Les cellules épithéliales produisent des enzymes digestives et réalisent l'absorption des molécules assimilables. Au contact de la lumière, une membrane péritrophique est présente. Élaborée par les cellules de la région antérieure de l'estomac, elle protège les cellules épithéliales mais demeure perméable aux enzymes et aux substances nutritives.

Figure 2. Les cæca gastriques du *Criquet* : des expansions de l'estomac augmentant la surface d'échanges digestive (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Des cæca, poches de forme allongée, sont en relation avec l'estomac et présentent une paroi de structure similaire. Impliqués dans la digestion et l'absorption, ils contribuent à augmenter la surface de contact entre l'organisme et le contenu de la lumière digestive et permettent ainsi des échanges accrus.
Estomac et cæca constituent le tube digestif moyen du *Criquet*, appelé mésentéron. Dépourvu de cuticule, il est d'origine endodermique.

Figure 3. L'iléon du *Criquet* : un tube réalisant l'absorption des molécules assimilables (*coupe longitudinale, microscope photonique*) La région postérieure du tube digestif possède généralement une paroi plane, composée d'un épithélium simple et prismatique, surmonté d'une fine cuticule. Il repose sur des tuniques musculaires circulaires et longitudinales. Il est le siège d'une absorption de substances d'origine alimentaire et d'eau. Lui font suite le côlon et le rectum, impliqués dans la production des fèces.

Figure 4. L'iléon du *Grillon* : une région du tube digestif pour la digestion symbiotique des aliments et l'absorption des molécules assimilables (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Chez le *Grillon*, la paroi de l'iléon présente des replis, les papilles. La cuticule qui les recouvre forme des épines sur lesquelles des foyers bactériens se développent. Il s'agit de symbiotes qui contribuent à la digestion de la cellulose contenue dans la nourriture de l'animal.
Le tube digestif postérieur est représenté par l'iléon, le côlon et le rectum. D'origine ectodermique, il possède une cuticule.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

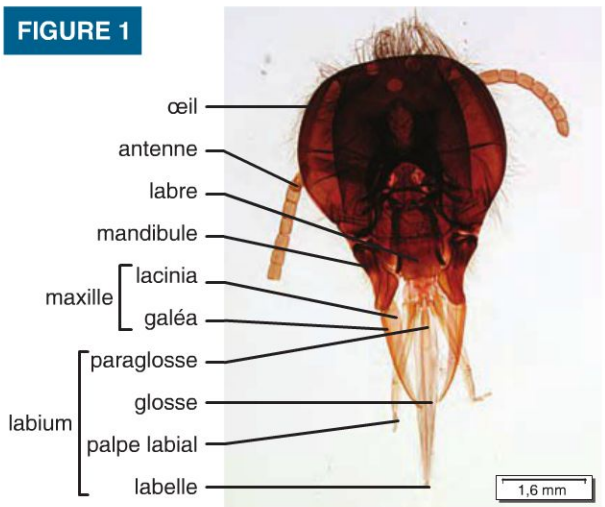


FIGURE 2

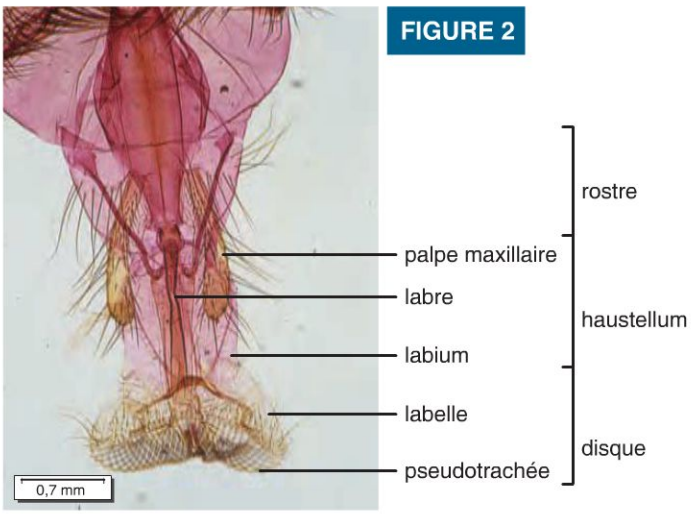


FIGURE 3

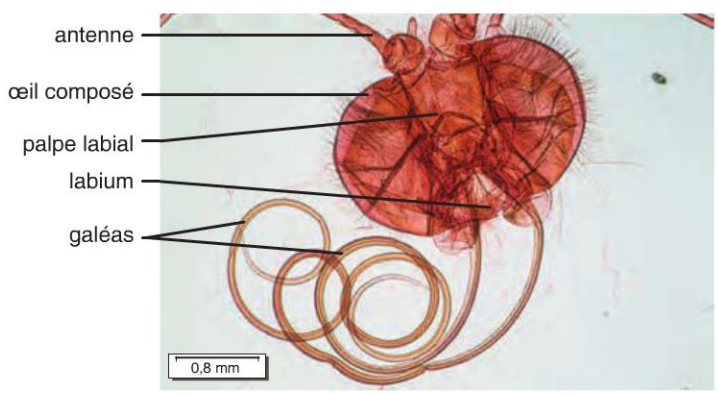


FIGURE 4

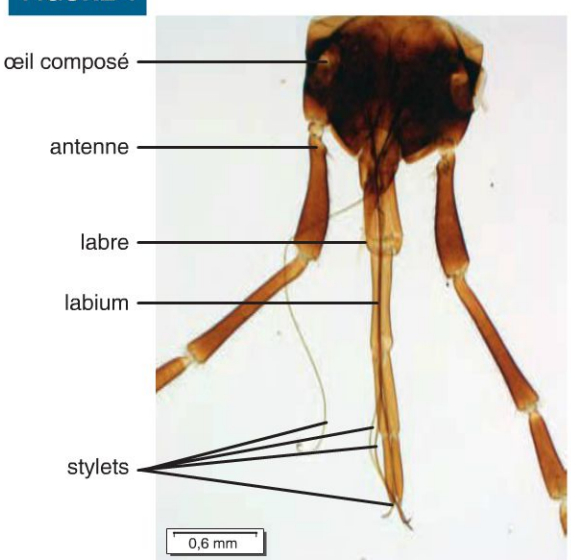


FIGURE 5

Copyright © 2015 Dunod.

La diversité de la prise alimentaire et les adaptations des pièces buccales des Insectes

fiche 31

Chez les Insectes, la prise de nourriture est réalisée à l'aide d'appendices portés par la tête et associés à la bouche.
Les pièces buccales des espèces phytophages, xylophages et omnivores sont représentées de l'avant vers l'arrière par un labre, une paire de mandibules, une paire de maxilles (composées d'un palpe, d'une galéa et d'une lacinia) et un labium résultant de la fusion de pièces symétriques (formées d'un palpe, d'une paraglosse et d'une glosse) (fiche 29).
Les appareils buccaux des espèces dont les régimes alimentaires sont différents peuvent être interprétés à la lumière de cette organisation.

Figure 1. L'appareil broyeur-lècheur de l'*Abeille* : des pièces buccales permettant le prélèvement d'aliments solides et liquides (*montage* in toto, *stéréomicroscope*) L'*Abeille* se nourrit de nectar et de pollen. Elle possède un labium allongé, transformé en une longue langue permettant de lécher le nectar. Les galéas et les palpes labiaux sont développés. Ensemble, ils forment une gaine dans laquelle la langue se rétracte. Les mandibules restent présentes, contribuant au broyage des étamines et ainsi à la récolte du pollen.

Figure 2. L'appareil suceur de la *Mouche* : des pièces buccales permettant le prélèvement d'une nourriture liquide et accessible (*montage* in toto, *stéréomicroscope*) La *Mouche* a un régime alimentaire composé de diverses substances liquides qui ont pour particularité d'être accessibles. Elle possède une trompe, formée du labre et du labium. Épaissi, ce dernier forme une gouttière dont l'extrémité est transformée en une ventouse parcourue de fins canaux, les pseudotrachées. Ils communiquent avec la cavité buccale et permettent la succion des liquides. Les mandibules et maxilles sont peu développées, seuls subsistent les palpes maxillaires.

Figure 3. L'appareil suceur du *Papillon* : des pièces buccales permettant le prélèvement d'une nourriture liquide et accessible (*montage* in toto, *stéréomicroscope*) Le *Papillon*, dont le régime alimentaire est principalement composé de nectar, possède une trompe enroulée à l'état de repos, appelée spiritrompe. Elle est constituée par les galéas des maxilles, très allongées. Chacune est creusée d'une demi-gouttière, la coaptation des deux galéas formant un canal alimentaire dans lequel le nectar est aspiré grâce à l'action de muscles du pharynx. Hormis les palpes labiaux, les autres composants de l'appareil buccal sont atrophiés.

Figure 4. L'appareil piqueur-suceur de la *Punaise* : des pièces buccales permettant le prélèvement d'une nourriture liquide et endiguée (*montage* in toto, *stéréomicroscope*) La *Punaise* se nourrit de sève, qui n'est accessible que grâce à un perçage de 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 la forme d'une gouttière. Maintenus par le labium et coulissant les uns par rapport aux autres, les stylets perforent la tige et pénètrent dans les tubes conducteurs de la sève avant de permettre son pompage grâce à l'action de muscles pharyngiens.

Figure 5. L'appareil piqueur-suceur du *Moustique* : des pièces buccales permettant le prélèvement d'une nourriture liquide et endiguée (*montage* in toto, *stéréomicroscope*) Le *Moustique* femelle s'alimente de sang, endigué dans des vaisseaux courant en particulier sous le tégument. L'accès à la nourriture implique l'action de stylets permettant de perforer le tégument de l'animal dont il prélève le sang. Ils sont formés par les mandibules et maxilles allongées et acérées. Le labre délimite le canal alimentaire et le labium forme une gaine contenant les autres pièces buccales.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

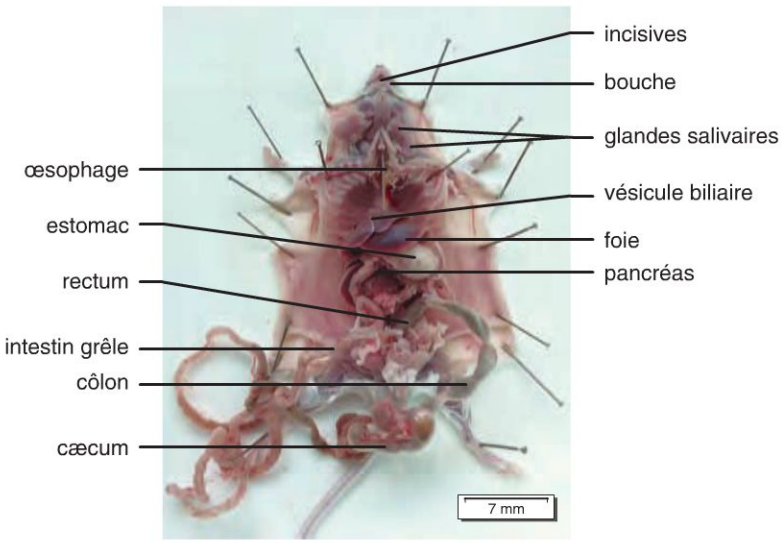


FIGURE 2

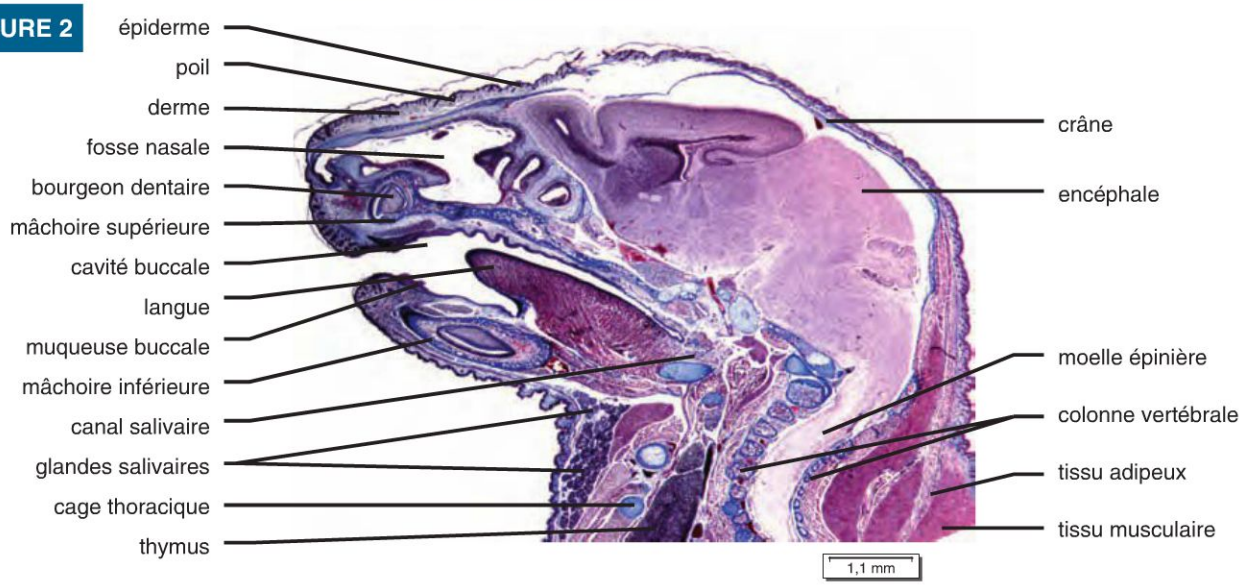
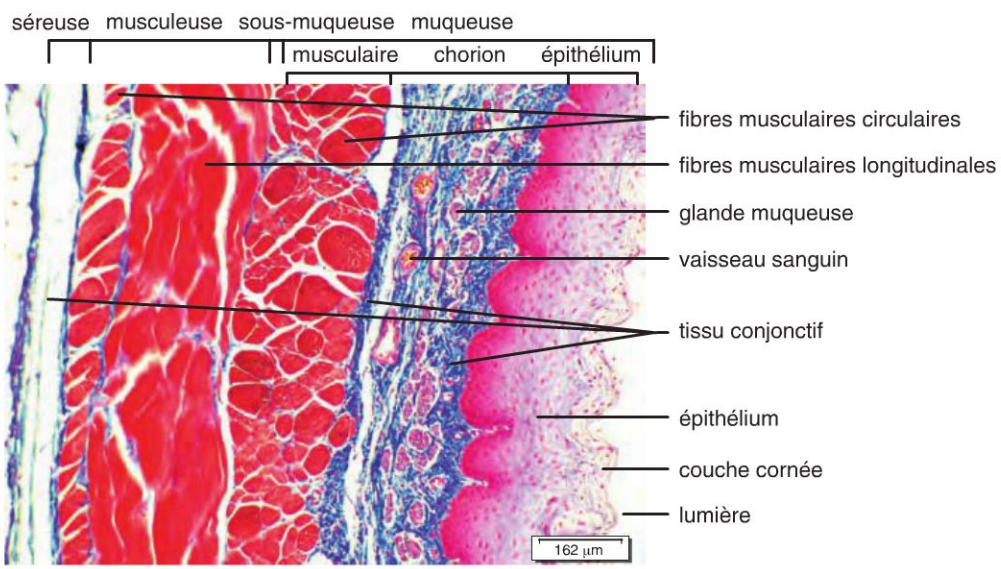


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Chez les Vertébrés, la fonction d'alimentation est réalisée par le biais de l'appareil digestif composé d'un tube digestif et de glandes digestives.

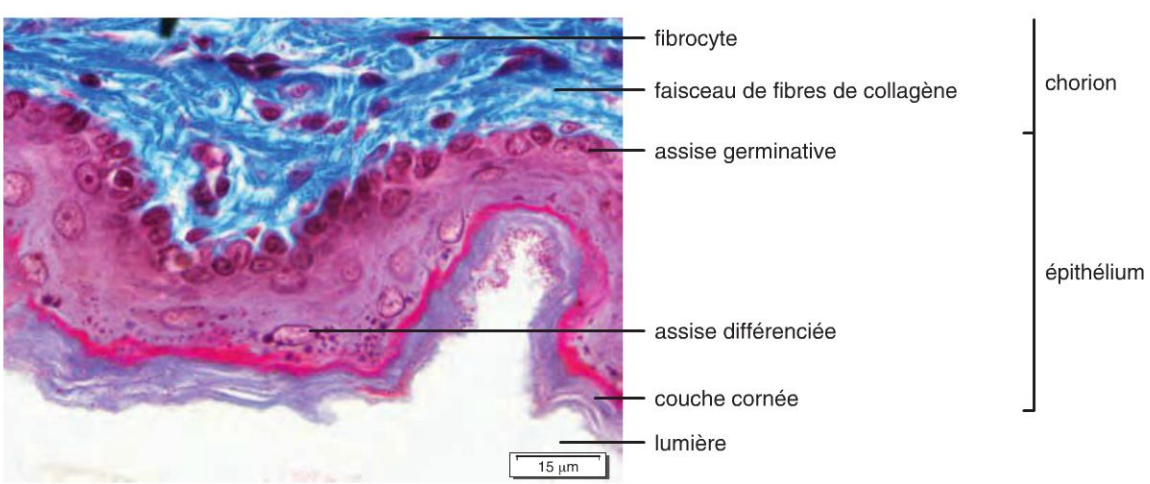
Figure 1. L'appareil digestif de la *Souris* : un tube dans lequel transitent les aliments et sont déversées les sécrétions de glandes exocrines (*vue ventrale*) De la bouche à l'anus, le tube digestif est successivement formé de la cavité buccale recevant les sécrétions des glandes salivaires, de l'œsophage acheminant les aliments ingérés dans l'estomac, puis de l'intestin grêle dans lequel débouchent les canaux émanant du foie et du pancréas. Le cæcum, vaste poche courbe, marque la limite entre l'intestin grêle et le côlon, également appelé gros intestin. Le côlon prend fin avec le rectum, ouvert sur l'extérieur pas l'anus.

Figure 2. La cavité buccale du *Rat* : une région du tube digestif spécialisée dans la prise de nourriture et le premier traitement des aliments (*coupe sagittale de la tête de l'embryon, stéréomicroscope*) La cavité buccale des Vertébrés est limitée à l'avant par deux replis tégumentaires (lèvre supérieure et lèvre inférieure). Chez les Gnathostomes, elle comporte une mâchoire supérieure et une mâchoire inférieure portant des dents, qui assurent la préhension, la contention et la mastication des aliments. Une langue musculeuse est présente, également impliquée dans la prise de nourriture et son brassage. Des cellules sécrétrices ou des glandes salivaires y déversent par ailleurs leurs sécrétions, permettant la lubrification des aliments.

Figures 3. et 4. L'œsophage des Vertébrés : un conduit permettant le transit de la nourriture de la bouche à l'estomac (*coupes longitudinales d'œsophage de Mammifère, microscope photonique*) Après la cavité buccale, le pharynx, carrefour des voies respiratoire et digestive, oriente la nourriture vers l'œsophage qui se présente comme un canal musculeux.
Chez les Mammifères, l'épithélium de l'œsophage est pluristratifié et pavimenteux, associé à des glandes muqueuses enfoncées dans le chorion. Il est fréquemment kératinisé, les assises externes formant une couche cornée desquamante. Une nappe musculeuse bien développée est associée à la muqueuse. La sous-muqueuse est peu épaisse, et entourée de la musculeuse puis de la séreuse. Dans la région antérieure de l'œosophage les fibres musculaires de la musculeuse sont de type strié alors que dans la région postérieure, elles sont lisses.

Chez les Vertébrés, la paroi du tube digestif est, à l'instar de celle de l'œsophage, constituée de trois tuniques successives. Au contact de la lumière, la muqueuse est composée d'un épithélium soutenu par une enveloppe conjonctive. Autour, la musculeuse est une enveloppe comportant des fibres musculaires circulaires et longitudinales. Enfin la séreuse emballant le tube est formée d'une fine adventice doublée du péritoine. L'enveloppe conjonctive est le plus souvent scindée en deux strates, le chorion sous l'épithélium et la sous-muqueuse au contact de la musculeuse, une musculaire de la muqueuse les séparant.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

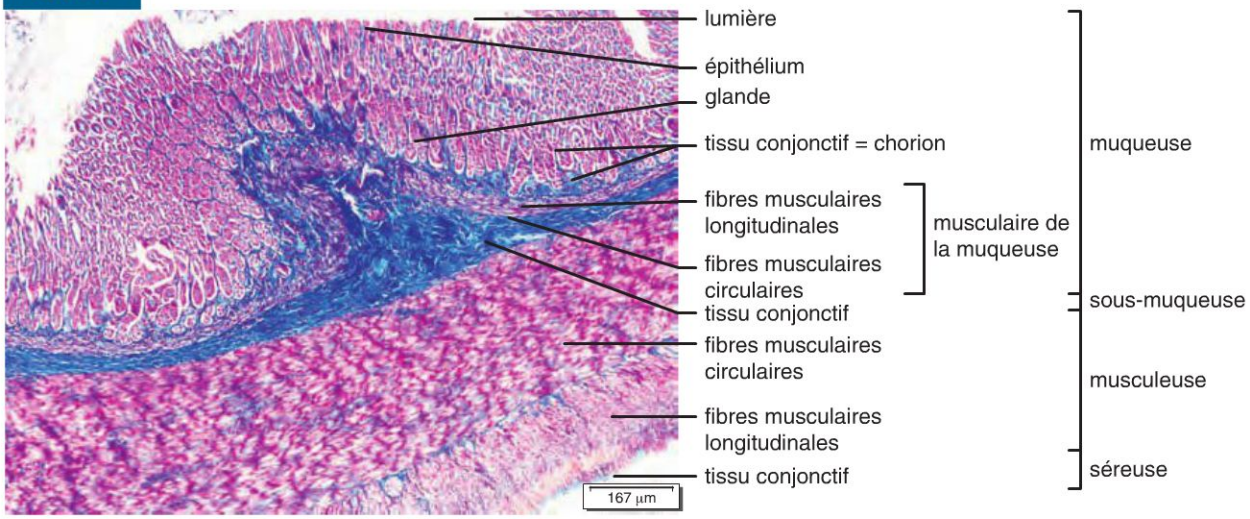


FIGURE 2

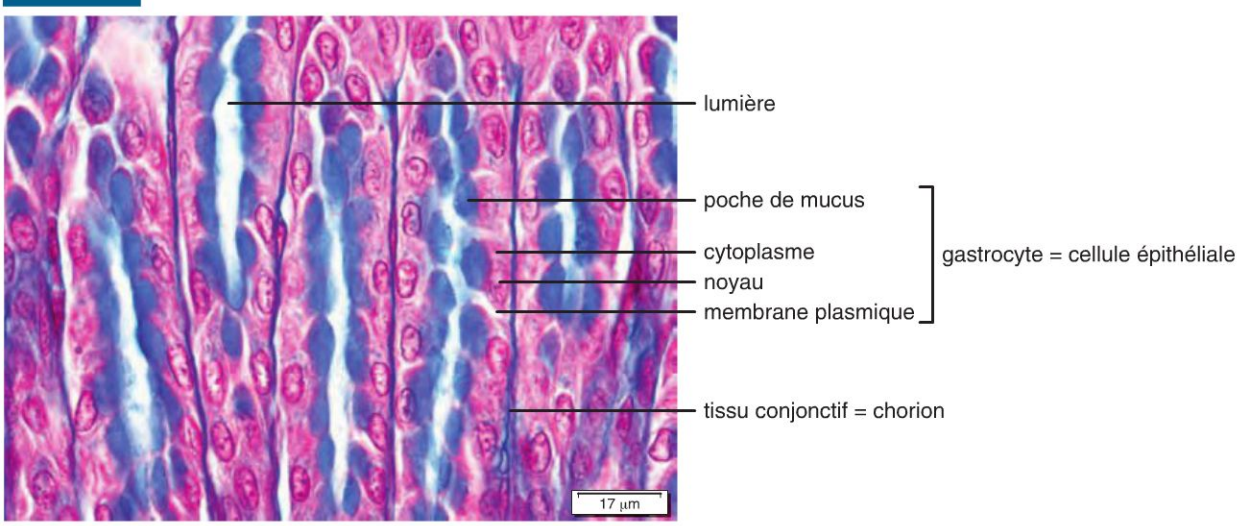
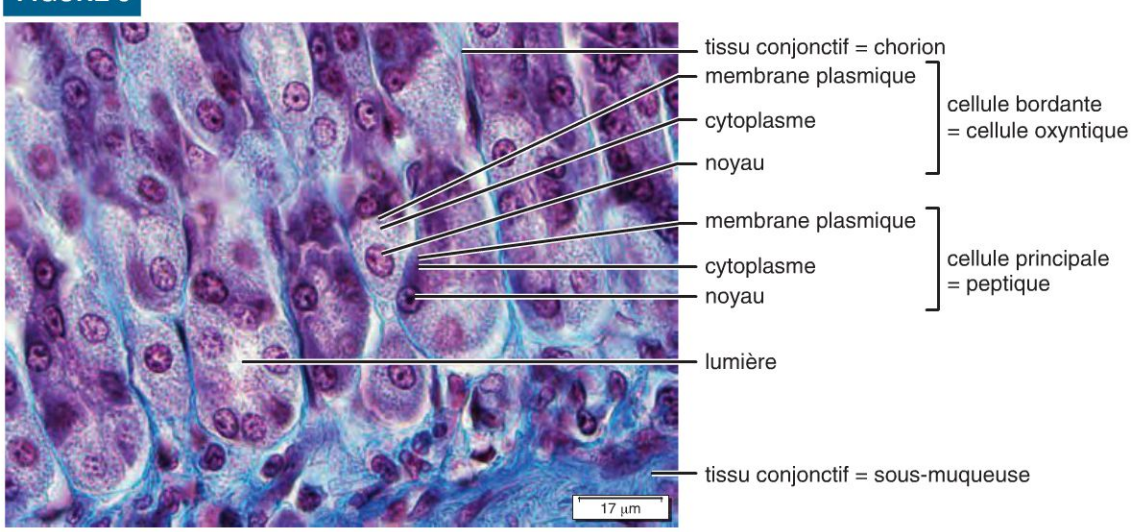


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

De la digestion à l'absorption chez les Vertébrés

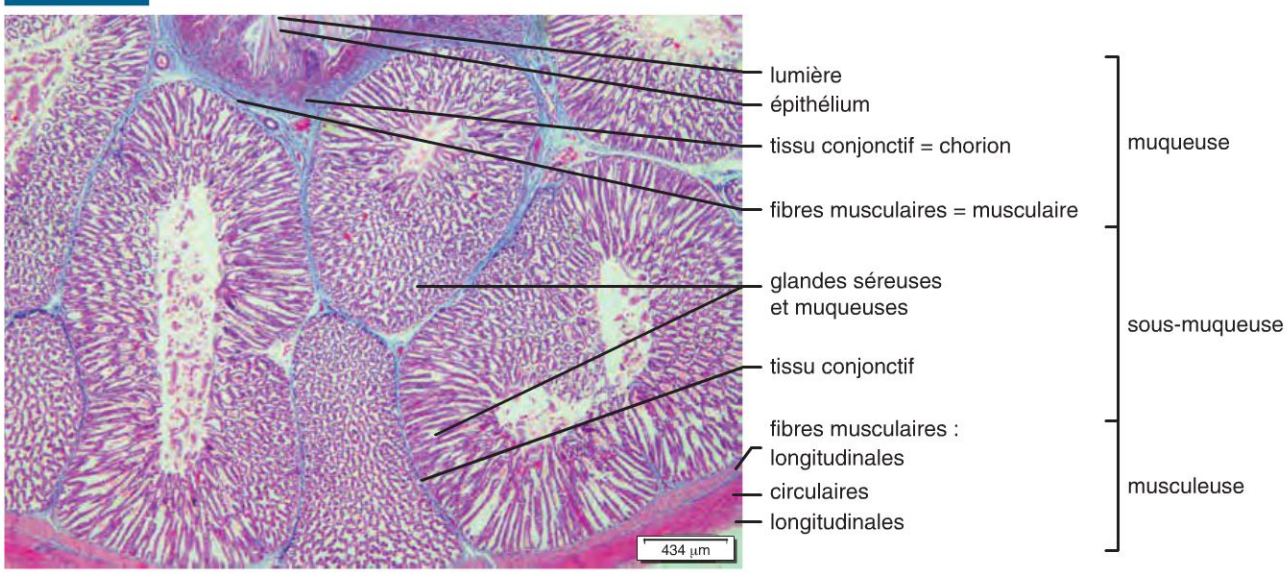
Chez les Vertébrés, les aliments ingérés, imprégnés de salive et réduits en petites particules par la mastication buccale, sont acheminés par l'œsophage vers l'estomac.
Dans ce groupe, la paroi du tube digestif est constituée, de la lumière vers la périphérie, d'une muqueuse représentée par un épithélium soutenu par un chorion de nature conjonctive, d'une sous-muqueuse formée de tissu conjonctif, d'une musculeuse composée de fibres musculaires lisses agencées en une tunique circulaire et une tunique longitudinale, et d'une séreuse. En relation avec les fonctions des différentes régions du tube digestif, des adaptations de cette structure sont observées. Le *Rat* et le *Poussin* en apportent deux exemples.

Figure 1. L'estomac du *Rat* : une poche transformant le bol alimentaire en chyme (*coupe transversale, microscope photonique*) L'estomac des Vertébrés est une poche dilatée et arquée dont l'entrée, à la jonction avec l'œsophage, et la sortie, débouchant sur l'intestin grêle, sont contrôlées par des anneaux musculeux appelés sphincters.
La paroi gastrique est formée d'une muqueuse formant de nombreux replis soutenus par le chorion conjonctif et possédant une musculaire bien développée. Elle est enveloppée d'une sous-muqueuse puis de tuniques musculeuses épaisses composées de fibres musculaires lisses, circulaires internes et longitudinales externes. La puissante musculature de l'estomac autorise un malaxage intense de la nourriture contenue dans la lumière.

Figures 2. et 3. L'épithélium de l'estomac du *Rat* : un tissu sécréteur élaborant un suc gastrique impliqué dans la digestion (*coupe transversale, microscope photonique*) Au contact de la lumière, l'épithélium gastrique est simple et prismatique. Il est composé de cellules sécrétrices de mucus appelées gastrocytes. Il forme de profonds replis s'enfonçant dans le chorion, constituant des glandes simples et tubuleuses ou cryptes gastriques. Deux types de cellules sécrétrices y sont particulièrement abondants. Les cellules principales ou peptiques, relativement petites et à cytoplasme dense, élaborent le précurseur d'une enzyme digestive, la pepsine. Les cellules bordantes ou oxyntiques, volumineuses, sphériques et à noyau central, produisent de l'acide chlorhydrique.
Dans l'estomac, le bol alimentaire est imprégné de suc gastrique acide, soumis à l'action de la pepsine, et malaxé. Ce traitement conduit à la réduction de la dimension des particules et à la digestion de certaines macromolécules alimentaires, dégradation les transformant en petites molécules assimilables. Une bouillie appelée chyme est ainsi formée. Le mucus produit par les gastrocytes protège l'épithélium de l'action du suc gastrique.

Figure 4. Le ventricule succenturié du *Poussin* : une manifestation de la régionalisation gastrique (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez les 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 décrit chez le *Rat*, alors que le second est spécialisé dans la trituration des aliments.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

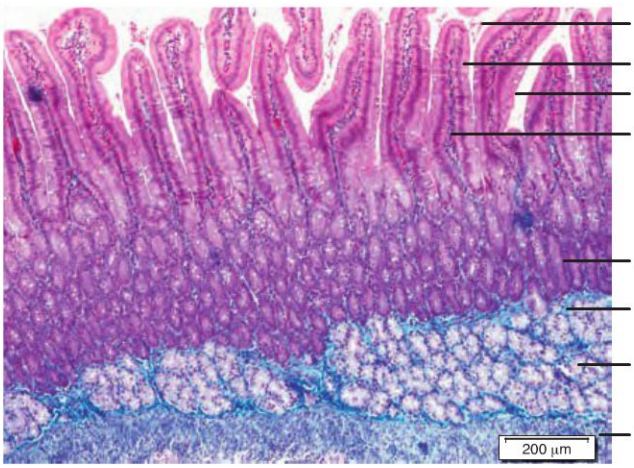


FIGURE 2

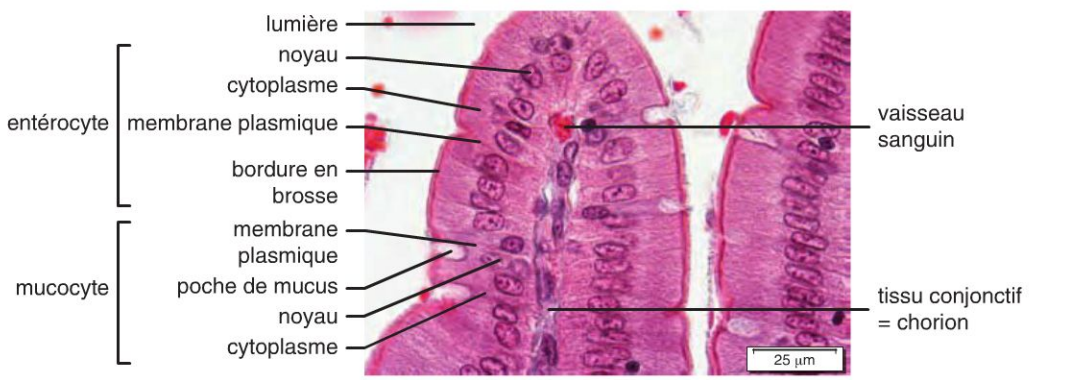


FIGURE 3

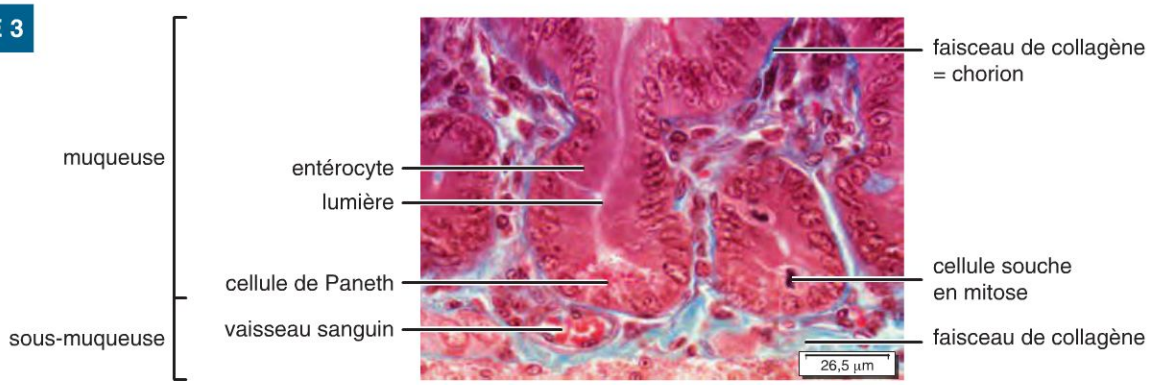
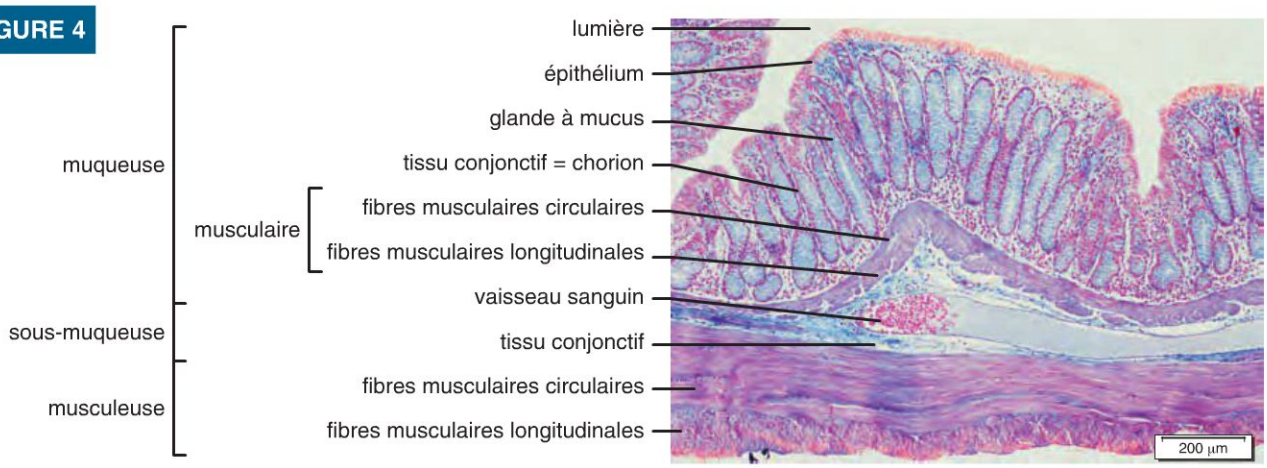


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Le chyme formé dans l'estomac à partir du bol alimentaire passe dans l'intestin grêle où se poursuit la digestion, dégradation enzymatique des aliments conduisant à la transformation des macromolécules qui les composent en petites molécules assimilables, et intervient l'absorption, passage de ces petites molécules de la lumière du tube digestif à l'organisme.
La paroi intestinale est formée des mêmes tuniques concentriques que l'œsophage et l'estomac (fiches 32 et 33). Les cas du *Rat* et du *Lapin* constituent des exemples représentatifs de son organisation.

Figure 1. L'intestin grêle du *Rat* : une région du tube digestif spécialisée dans la digestion et l'absorption (*coupe longitudinale de duodénum, microscope photonique*) Chez les Mammifères, l'intestin grêle est formé de trois régions successives : le duodénum recevant le contenu de l'estomac, le jéjunum puis l'iléon s'ouvrant dans le côlon. Si elles sont semblables du point de vue anatomique (fiche 32), elles présentent des différences histologiques.
La paroi de l'intestin grêle présente une muqueuse formant des replis faisant saillie dans la lumière, appelés villosités, et soutenus par un chorion de nature conjonctive. Elle développe également des creux, nommés cryptes de Lieberkühn, s'enfonçant dans le chorion, et comporte une musculaire de la muqueuse parfois peu développée. Une sous-muqueuse conjonctive l'entoure puis deux tuniques de fibres musculaires lisses, circulaires et longitudinales, constituant une musculeuse. Extérieurement, l'organe est emballé par la séreuse.
L'épithélium duodénal forme des glandes ramifiées tubuleuses, les glandes de Brunner, enfoncées dans la sous-muqueuse. Elles produisent un mucus basique qui neutralise l'acidité du chyme provenant de l'estomac. Elles sont absentes dans le jéjunum et l'iléon, qui possèdent en revanche d'importants nodules lymphoïdes, les plaques de Peyer, situés sous l'épithélium (fiche 56).
Les canaux évacuateurs du pancréas exocrine (canaux pancréatiques) et du foie (canal cholédoque) s'abouchent au duodénum, autorisant le déversement des produits élaborés par ces glandes dans sa lumière. Ils sont responsables de l'essentiel de la digestion intestinale, processus extracellulaire (fiche 35).

Figures 2. et 3. La muqueuse du jéjunum du *Rat* : la tunique absorbante de l'intestin grêle (*coupes longitudinales de villosité et de crypte de Lieberkühn, microscope photonique*) L'épithélium bordant la lumière de l'intestin grêle des Vertébrés est simple et prismatique. Il repose sur un chorion conjonctif dans lequel courent des capillaires sanguins et des capillaires lymphatiques, appelés chylifères.
Au niveau des villosités, il comporte deux types cellulaires principaux : les entérocytes, cellules absorbantes munies d'une bordure en brosse, et les mucocytes, cellules caliciformes productrices de mucus.
Chez les Mammifères, au niveau des cryptes de Lieberkühn sont localisées les cellules souches permettant le renouvellement de l'épithélium, des cellules sécrétrices de lysozyme et des cellules endocrines.
Les entérocytes sont le siège du passage des substances nutritives de la lumière du tube digestif vers le sang ou la lymphe : elles traversent la bordure en brosse, tout en subissant parfois une ultime dégradation enzymatique, pénètrent dans le cytoplasme puis sont transférées dans les vaisseaux.
Les villosités de la muqueuse et les bordures en brosse des entérocytes augmentent la surface de contact entre l'organisme et le contenu de la lumière intestinale, et contribuent à accroître l'absorption.

Figure 4. Le côlon du *Lapin* : une région du tube digestif spécialisée dans l'absorption d'eau et le traitement des substances non assimilées (*coupe transversale du côlon, microscope photonique*)
La structure histologique du côlon ou gros intestin est semblable à celle de l'intestin grêle. L'épithélium de la muqueuse est simple, prismatique et formé d'entérocytes en surface. Il développe des glandes simples tubuleuses dans le chorion, essentiellement composées de cellules sécrétrices de mucus.
Le côlon est le siège d'une absorption d'eau et de la formation des fèces constitués des résidus alimentaires non absorbés.

La progression du chyme le long de l'intestin est réalisée grâce aux contractions alternées des tuniques musculaires circulaire et longitudinale de la musculeuse, à l'origine d'un péristaltisme. Elles sont contrôlées par le système nerveux végétatif représenté par des plexus nerveux (fiche 67).

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

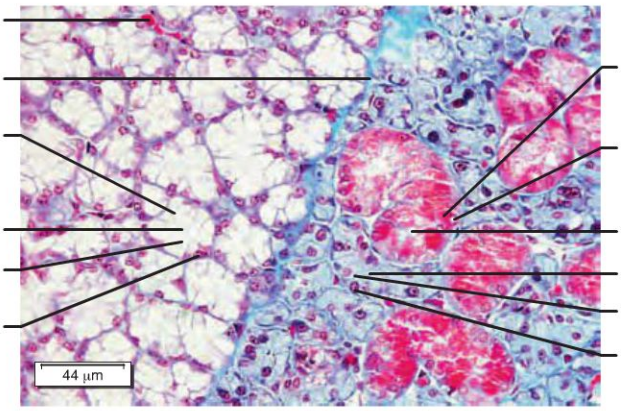


FIGURE 2

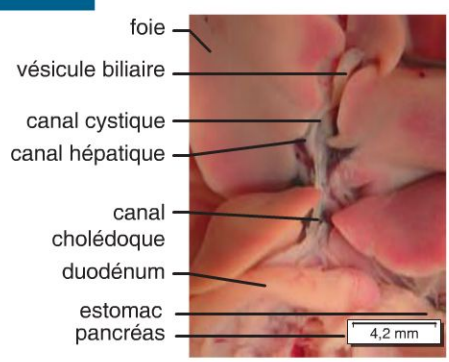


FIGURE 3

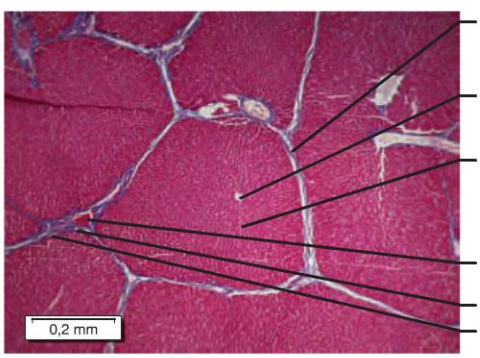


FIGURE 4

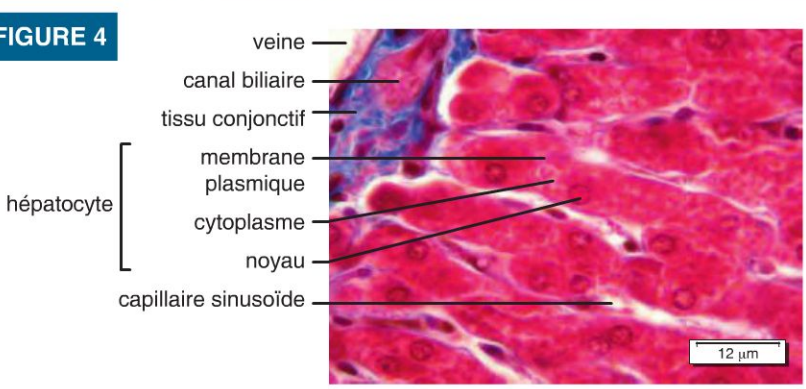
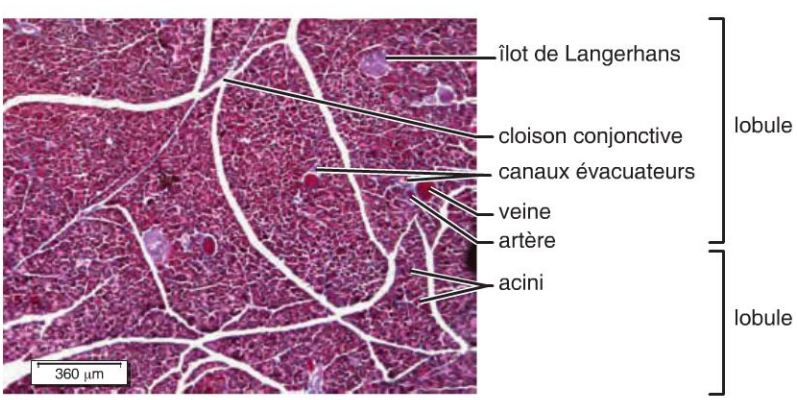


FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

Les sécrétions digestives impliquées dans la digestion : les glandes digestives des Vertébrés

fiche 35

L'appareil digestif des Vertébrés est formé du tube digestif et de glandes exocrines associées (fiche 32). Formations issues de l'évolution de l'épithélium digestif au cours du développement embryonnaire, elles sont spécialisées dans la synthèse et la libération de produits de sécrétion, déversés dans le tube digestif par l'intermédiaire de canaux évacuateurs. Les exemples du *Rat* et de la *Souris* permettent d'illustrer leurs organisations.

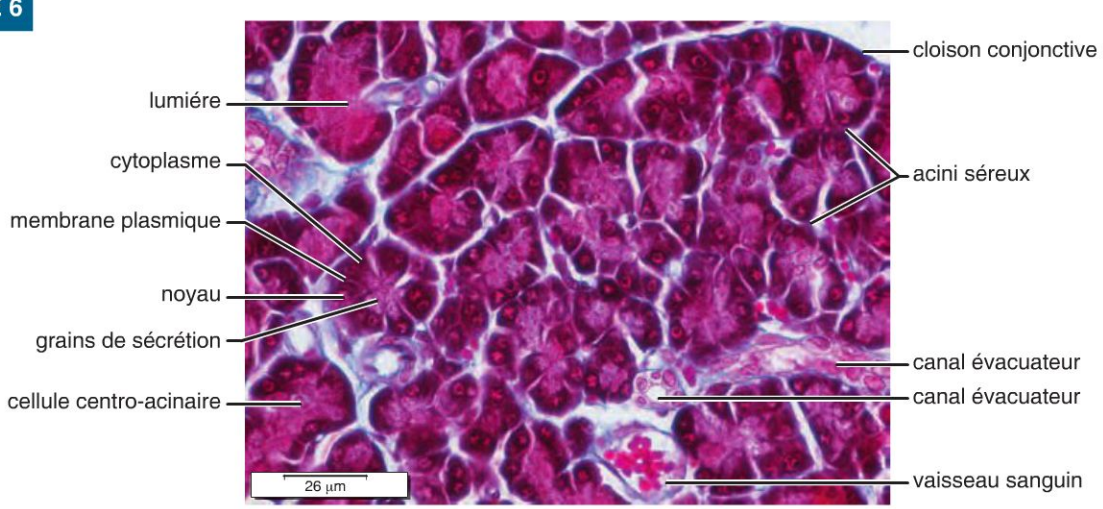
Figure 1. Les glandes salivaires du *Rat* : la production de salive et l'imbibition des aliments dans la cavité buccale (*coupe transversale, microscope photonique*) Les glandes salivaires des Mammifères sont composées et généralement acineuses. Elles comportent des cellules sécrétrices séreuses synthétisant des protéines enzymatiques, et muqueuses élaborant des mucopolysaccharides. Elles stockent les substances produites à leur apex puis les déversent dans des canaux évacuateurs. Le traitement mécanique des aliments dans la région buccale est accompagné de leur imprégnation par la salive qui permet leur lubrification (mucus) mais aussi un début de digestion (enzymes).

Figure 2. Le foie et le pancréas de la *Souris* : la production de bile et de suc pancréatique déversés dans l'intestin grêle (*vue ventrale*) Le foie réalise la production de bile. Elle est drainée par des canaux hépatiques débouchant sur un canal cystique menant à une poche de stockage, la vésicule biliaire. Elle est déversée dans le duodénum par l'intermédiaire du canal cystique puis du canal cholédoque. Le pancréas exocrine produit le suc pancréatique. Il est acheminé vers le duodénum par deux canaux pancréatiques.

Figures 3. et 4. Le foie du *Rat* : l'élaboration de la bile, favorisant la digestion des lipides (*coupe transversale, microscope photonique*) Les lobes du foie sont formés de lobules délimités par des cloisons conjonctives dans lesquelles courent les artères hépatiques, alors que les veines hépatiques sont situées en leur centre. Les cellules hépatiques, ou hépatocytes, sont agencées en lames rayonnant du centre vers la périphérie des lobules. Les espaces les séparant sont occupés par des capillaires sanguins discontinus et de grand diamètre, qualifiés de sinusoïdes. Les hépatocytes élaborent la bile, drainée par les canalicules hépatiques ménagés entre eux, convergeant vers les canaux hépatiques. Dans la lumière du duodénum, elle favorise la digestion des lipides, contribuant à la formation d'une émulsion qui facilite l'action des lipases. Les hépatocytes assurent par ailleurs le stockage et la libération de substances métaboliques.

Figures 5. et 6. Le pancréas du *Rat* : l'élaboration du suc pancréatique, mélange d'enzymes et d'ions bicarbonate (*coupe transversale, microscope photonique*) Le pancréas est également constitué de lobules dans lesquels deux types d'assemblages cellulaires sont visibles : les acinus exocrines et les îlots de Langerhans endocrines (fiche 69). Glande composée, le pancréas exocrine sécrète des enzymes et des ions bicarbonate. Dans la lumière duodénale, le suc pancréatique permet la digestion de nombreuses molécules (protéines, glucides, lipides, acides nucléiques) et tout en neutralisant l'acidité du chyme gastrique.

FIGURE 6



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

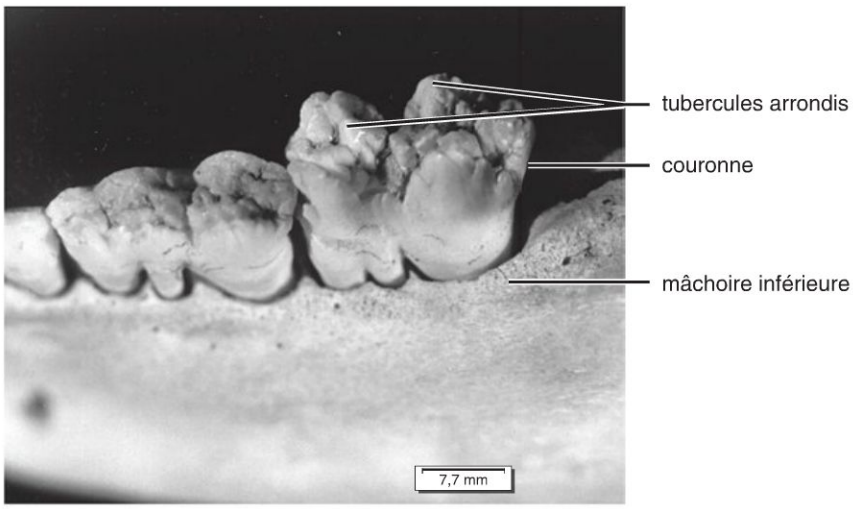


FIGURE 2

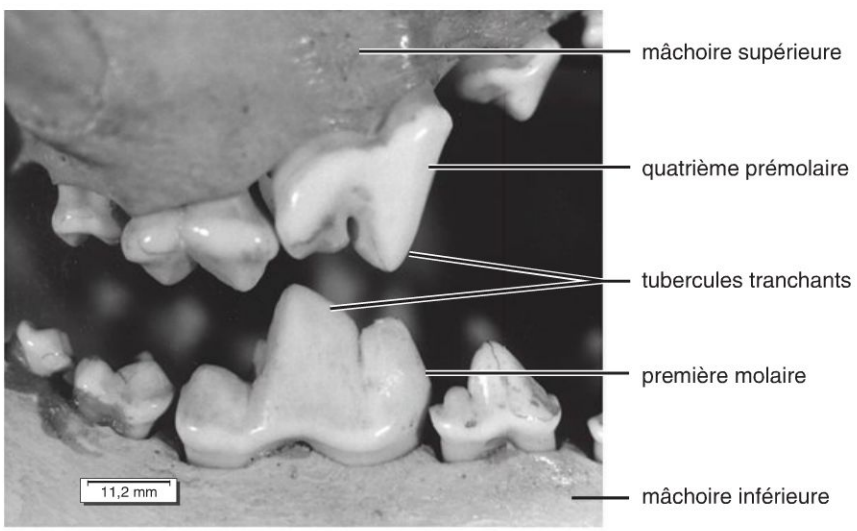
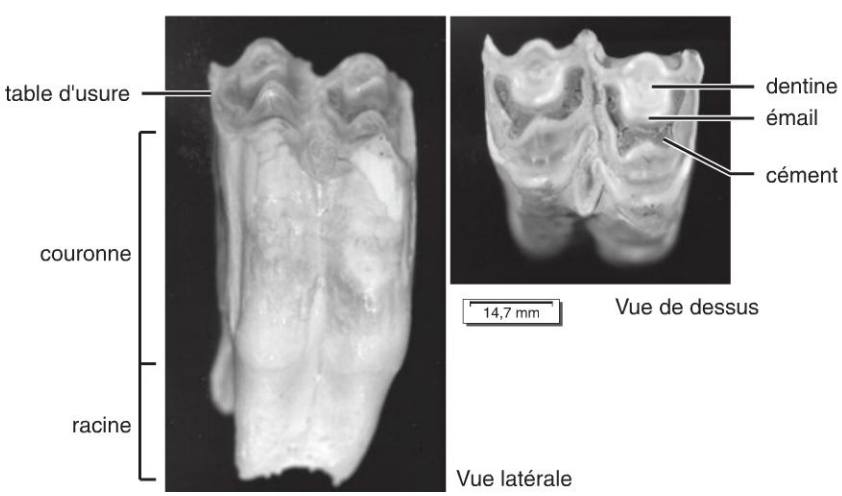


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La diversité des régimes alimentaires et les adaptations des dents des Mammifères

fiche 36

La cavité buccale des Mammifères, comme celle de la plupart des Gnathostomes, est associée à des dents, portées par les mâchoires inférieure et supérieure (fiche 32). Ce 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.
Selon leur place dans la cavité buccale et leur morphologie, plusieurs catégories de dents sont distinguées. Les dents labiales sont situées en arrière des lèvres et possèdent une couronne simple ainsi qu'une racine unique. Elles sont représentées par les incisives à couronne conique ou aplatie, et les canines à couronne conique.
Les dents jugales sont localisées en arrière de la joue ; elles présentent une couronne complexe portant de multiples tubercules et souvent plusieurs racines. Elles correspondent aux prémolaires antérieures et aux molaires postérieures.

Figure 1. Les dents jugales bunodontes du *Porc* : des dents adaptées à la mastication d'aliments variés (*vue externe*) Le *Porc* est un Mammifère omnivore. Il possède des dents jugales à couronne basse, mamelonnée et portant de multiples tubercules arrondis. Leurs racines sont courtes et fermées, leur croissance est limitée et qualifiée de brachyodonte. Elles permettent un broyage des aliments, grâce à des mouvements verticaux des mâchoires.
Les prémolaires et molaires sont associées à des incisives et des canines, cette denture complète est peu spécialisée, adaptée à un régime alimentaire diversifié.

Figure 2. Les dents jugales sécodontes du *Chien* : des dents adaptées au tranchage d'aliments carnés (*vue externe*) Le *Chien* est un Mammifère carnivore. De même que le *Porc*, il possède des dents jugales à couronne basse, à racine courte et fermée, à croissance brachyodonte.
Elles portent des tubercules aigus, aux arêtes tranchantes. Les plus grosses d'entre elles (première molaire inférieure et quatrième prémolaire supérieure) sont appelées carnassières. Elles coupent les aliments grâce aux mouvements verticaux des mâchoires. La carnassière inférieure est également pourvue d'une région broyeuse.
Ces dents jugales sont associées à des incisives petites et tranchantes, et des canines transformées en crocs impliqués notamment dans la capture des proies.
Cette denture est adaptée à la capture de la nourriture et sa section.

Figure 3. Les dents jugales sélénodontes de la *Vache* : des dents adaptées au broyage de végétaux (*vue externe*) La *Vache* est un Mammifère herbivore. Elle possède des dents jugales à couronne haute, racine longue et croissance prolongée, qualifiée d'hypsodonte. Les mouvements des mâchoires sont principalement transversaux bien que leurs articulations autorisent des déplacements en tous sens.
Au niveau de chaque tubercule des dents jugales apparaît un îlot en forme de croissant. Il est composé de dentine entourée d'une crête d'émail et résulte d'une abrasion permanente liée au broyage de la nourriture végétale. La surface de ces dents est en conséquence décrite comme une table d'usure.
La mâchoire inférieure porte en outre des incisives et canines inclinées vers l'avant et tranchantes. Elles permettent de couper l'herbe, en relation avec le bourrelet corné présent sur la mâchoire supérieure et la langue.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

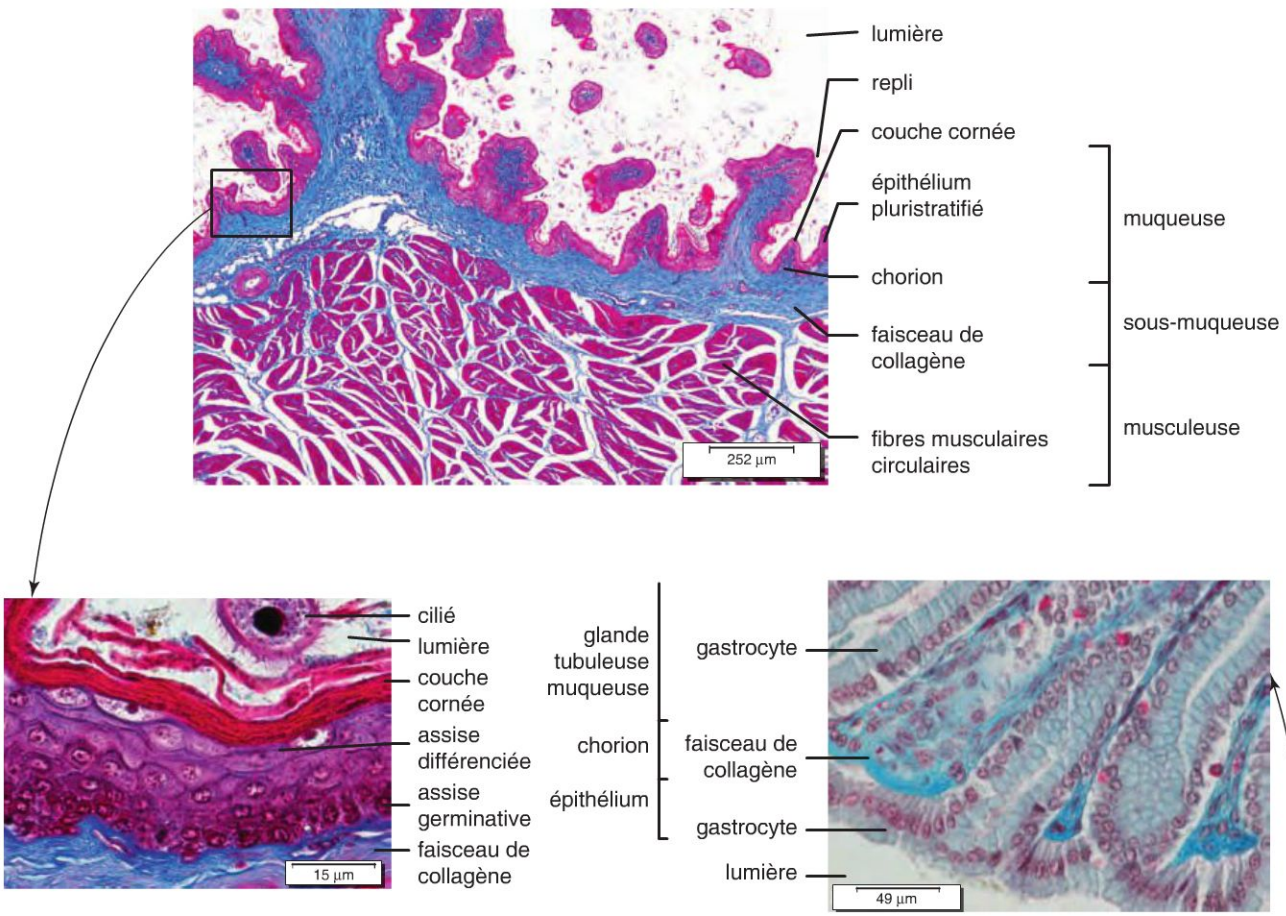
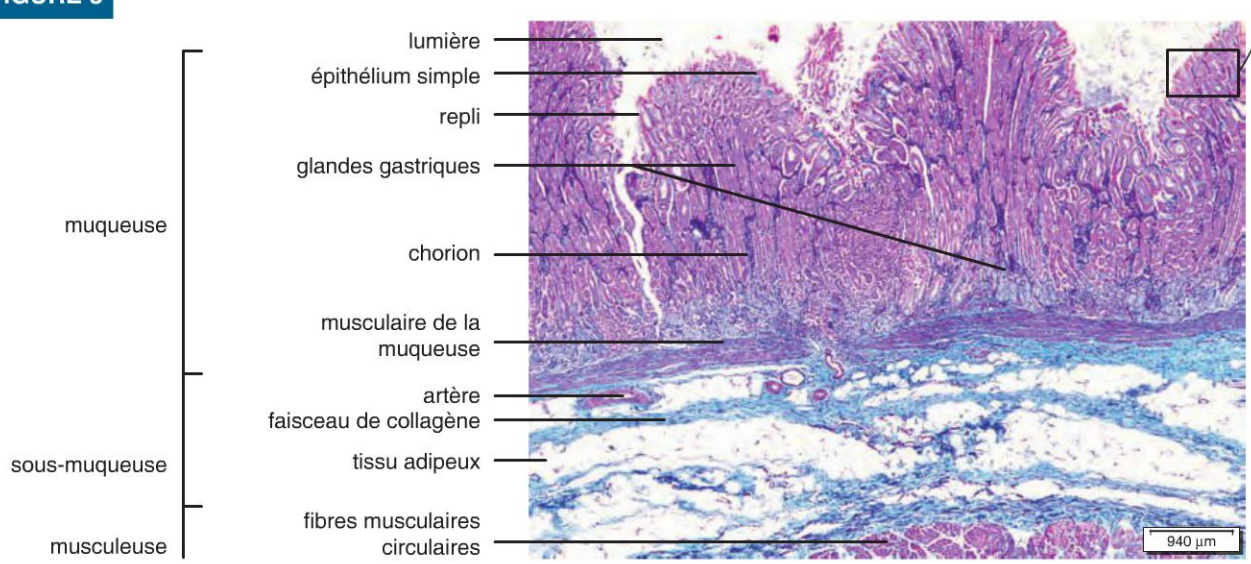


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

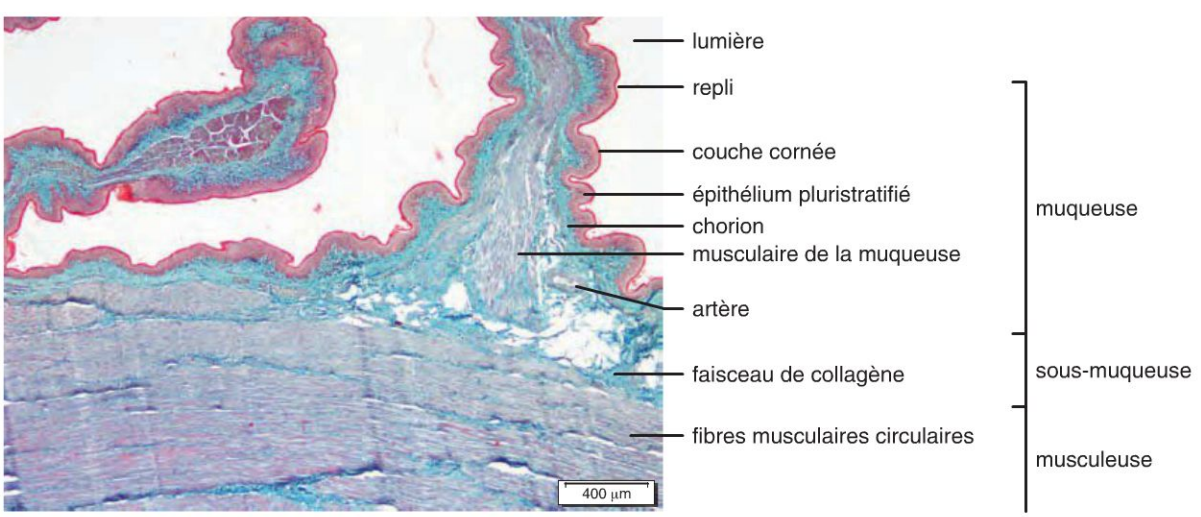
Chez les Vertébrés, la réduction mécanique de la taille des particules alimentaires est réalisée par la mastication effectuée par les dents et le malaxage dû à l'estomac. La simplification enzymatique des substances nutritives des aliments est le fait des sécrétions digestives (salive, suc gastrique, suc pancréatique). De manière générale, ces animaux ne possèdent pas d'enzyme capable de dégrader la cellulose, polymère glucidique présent en abondance dans les plantes qui constituent une partie de leur nourriture. Le tube digestif des ruminants comme la *Vache* est caractérisé par le développement d'une vaste poche formée de quatre chambres. Il s'agit de la panse antérieure (ou rumen), du bonnet (ou reticulum), du feuillet (ou omasum) et de la caillette postérieure (ou abomasum).

Figure 1. Le bonnet de la *Vache* : un fermenteur œsophagien dans lequel la cellulose est digérée par des symbiotes (*coupes longitudinales, microscope photonique*) Le bonnet possède une paroi composée, de la lumière vers la périphérie, d'un épithélium pluristratifié pavimenteux kératinisé soutenu par un chorion de nature conjonctive, d'une sous-muqueuse et d'une musculeuse. Les caractéristiques de l'épithélium montrent que cet organe correspond à une dilatation de l'œsophage. Il abrite une abondante flore microbienne, notamment bactérienne, qui réalise la digestion anaérobie de la cellulose et l'hydrolyse des protéines alimentaires, en association avec des eucaryotes unicellulaires du groupe des Ciliés. Les produits issus de la fermentation peuvent être absorbés directement à ce niveau. La panse située en amont du bonnet présente des caractéristiques semblables.

Figure 2. Le feuillet de la *Vache* : une région œsophagienne d'absorption d'eau (*coupe transversale, microscope photonique*) Le contenu de la panse et du bonnet, après avoir été ruminé c'est-à-dire régurgité et mastiqué, passe dans le feuillet, site d'une absorption d'eau. L'organisation de l'épithélium qui borde sa lumière, pluristratifié pavimenteux et kératinisé, révèle qu'il s'agit d'un dérivé de l'œsophage.

Figure 3. La caillette de la *Vache* : un estomac à fonctions mécanique et digestive (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Du feuillet, le contenu du tube digestif passe dans la caillette. Elle possède un épithélium simple et prismatique composé de cellules à mucus et formant des glandes simples tubuleuses enfoncées dans le chorion ainsi qu'une musculaire de la muqueuse épaisse. Ces particularités révèlent que la caillette est l'équivalent de l'estomac des autres Mammifères. Le début la digestion des substances alimentaires non fermentées s'y produit ainsi que celle des symbiotes entraînés avec le bol alimentaire.

FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

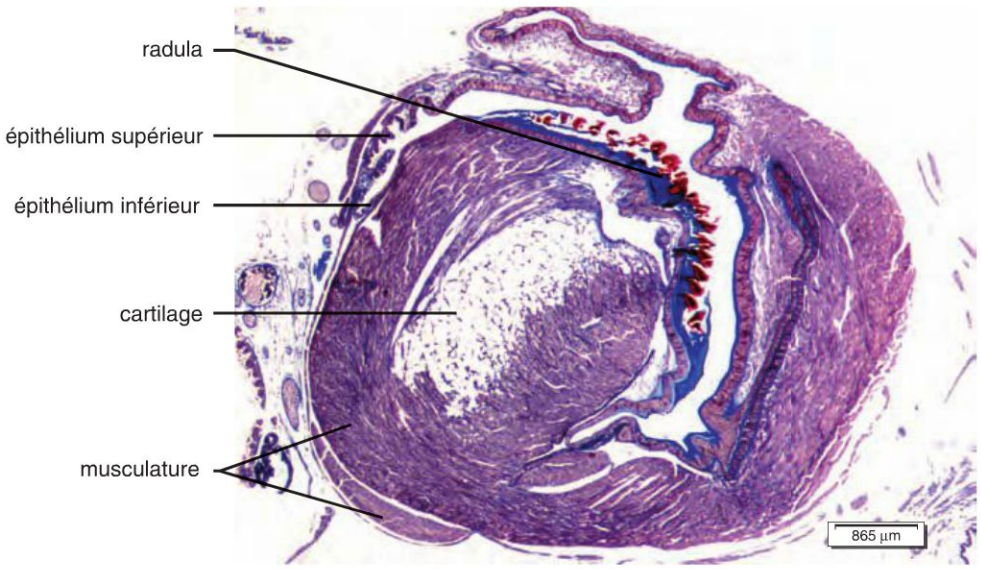


FIGURE 2

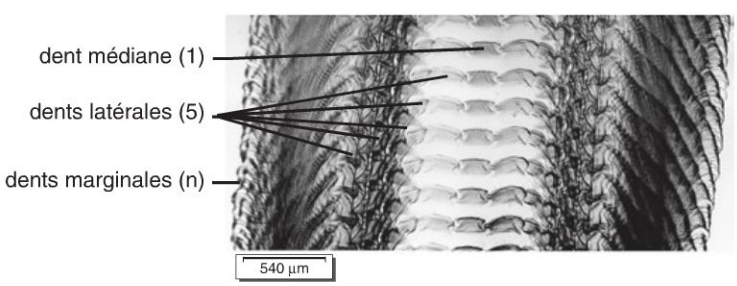


FIGURE 3

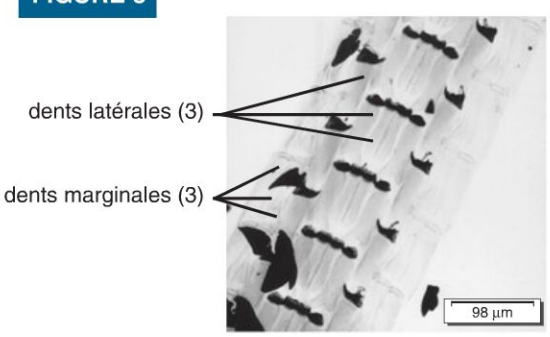


FIGURE 4

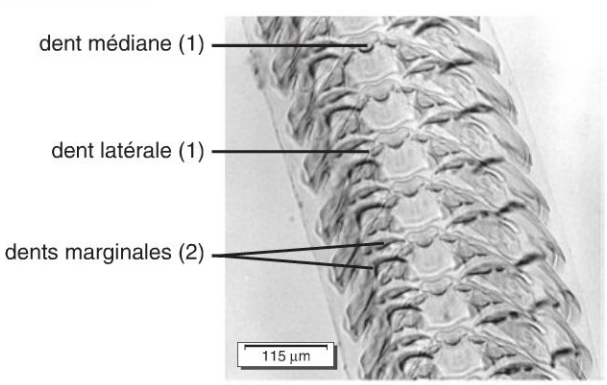
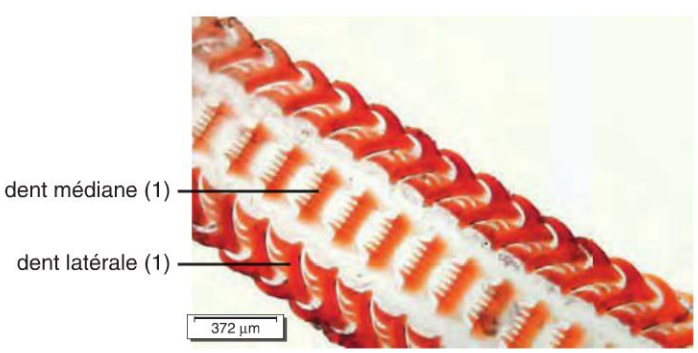


FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

La diversité de la prise alimentaire et l'organisation de la radula des Eumollusques

fiche 38

La cavité buccale des Eumollusques 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 porte des dents disposées en rangées transversales. Chaque rangée est composée d'une dent centrale ou médiane encadrée de dents latérales, et vers le bord de dents marginales.

Figure 1. Le bulbe buccal de l'*Aplysie* : la région antérieure du tube digestif assurant la prise de nourriture et le premier traitement des aliments (*coupe sagittale, microscope photonique*) 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. Sa production est réalisée par des cellules sécrétrices (odontoblastes) localisées au fond d'une gaine radulaire. Au fur et à mesure, elle progresse vers l'avant, ce qui assure le renouvellement de la région active.
Dans la cavité buccale, les particules détachées par la radula sont agglomérées par la salive avant de passer dans l'œsophage.

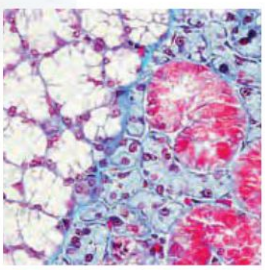
Figure 2. La radula rhipidiglosse de l'*Ormeau* : des dents permettant la capture de fines particules végétales (*montage* in toto, *microscope photonique*) L'*Ormeau* est un animal phytophage. Il possède une radula longue, portant des dents nombreuses. La dent médiane est encadrée de chaque côté par cinq dents latérales puis de multiples fines dents marginales. Les dents marginales agissent comme des brosses, balayant les particules alimentaires présentes à la surface des rochers vers la zone centrale de la radula, où elles sont capturées par la dent médiane recourbée. Elles sont alors amenées à la bouche.

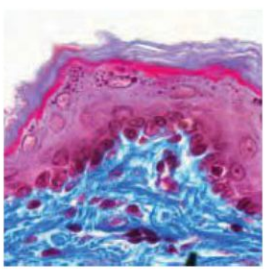
Figure 3. La radula docoglosse de la *Patelle* : des dents permettant l'ingestion d'algues microscopiques (*montage* in toto, *microscope photonique*) La *Patelle* se nourrit de végétaux. Elle présente une longue radula relativement étroite, avec des dents peu nombreuses dans chaque rangée. La dent médiane est absente, les dents latérales au nombre de trois de chaque côté, de même que les dents marginales. Le mucus collant produit par la *Patelle* est impliqué dans la collecte des algues microscopiques présentes sur les rochers qui constituent sa nourriture principale.

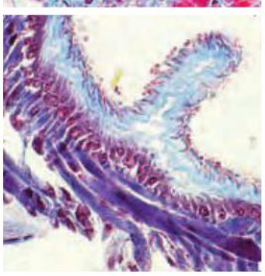
Figure 4. La radula taenioglosse de la *Littorine* : des dents permettant l'abrasion de la surface des algues (*montage* in toto, *microscope photonique*) La *Littorine* a un régime alimentaire composé d'algues de grande taille. Sa radula est longue mais les dents sont peu nombreuses. Les rangées comprennent une dent médiane et de chaque côté une dent latérale et deux dents marginales. Associée à des mâchoires, elle râpe la surface des algues et en détache les cellules des couches superficielles qui sont ensuite avalées.

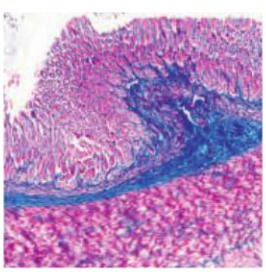
Figure 5. La radula rachiglosse du *Buccin* : des dents permettant l'abrasion des tissus animaux (*montage* in toto, *microscope photonique*) Animal carnivore, le *Buccin* est caractérisé par une radula portant des dents fortes et acérées, mais peu nombreuses. Une rangée comporte une dent médiane encadrée par deux dents latérales, les dents marginales sont absentes. Les dents permettent de râper, déchirer et tirer les tissus des proies.

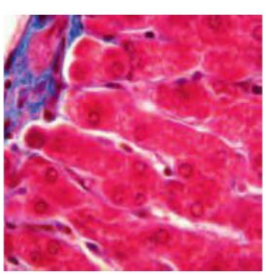
Copyright © 2015 Dunod.

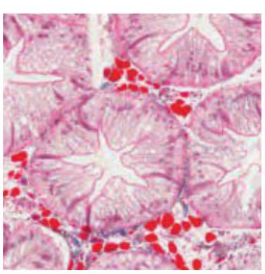












bouche

Prise de nourriture
Fragmentation

cavité buccale

glandes salivaires

Imbibition

œsophage

Acheminement

jabot

Stockage

gésier estomac

Broyage
Malaxage
Début de digestion

foie pancréas

Digestion

hépato-pancréas

Digestion
Absorption

estomac intestin

Absorption
Production des fèces

anus

Élimination des fèces

Copyright © 2015 Dunod.

Unité et diversité de l'alimentation et des appareils digestifs des animaux

fiche 39

Les Métazoaires réalisent de multiples échanges de matière et d'énergie avec leur milieu ; ils relèvent des fonctions d'alimentation, de respiration et d'excrétion. L'ensemble de ces activités constitue les fonctions de nutrition.
L'alimentation permet aux organismes de s'approvisionner en molécules organiques. Ils obtiennent ainsi les précurseurs nécessaires à leurs biosynthèses et les molécules énergétiques indispensables au fonctionnement cellulaire. Si certains animaux comme le *Ténia* absorbent des substances dissoutes dans leur environnement à travers leur surface, réalisant une osmotrophie, la plupart prélèvent dans leur milieu de vie des particules alimentaires, pratiquant la phagotrophie.
De manière générale, le support anatomique de la fonction d'alimentation est l'appareil digestif.

Les premières étapes de l'alimentation consistent en la prise de nourriture et le traitement mécanique des aliments. Elles sont exécutées par la région antérieure du tube digestif (fiches 29, 32).
Des structures complexes associées à la bouche permettent aux animaux d'obtenir des particules alimentaires. Elles présentent des adaptations aux régimes alimentaires chez les espèces se nourrissant de particules de grande taille, pratiquant la macrophagie (fiches 31, 36, 38). Chez les espèces s'alimentant par microphagie, la nourriture est représentée par des particules de petite taille. La prise alimentaire implique alors des dispositifs de filtration du milieu extérieur ou consiste en une ingestion directe de ce milieu.
En arrière de la bouche, le tube digestif antérieur présente parfois des poches dans lesquelles un stockage temporaire de la nourriture est possible. Grâce au développement de régions munies de dispositifs durs associés à une importante musculature, il assure également une trituration, un malaxage et un broyage des aliments (fiches 29, 33).

Les aliments passent ensuite dans le tube digestif postérieur, leur progression étant favorisée par les contractions de la musculature de sa paroi. La digestion chimique, dégradation enzymatique des aliments conduisant à leur transformation en petites molécules, et l'absorption, passage des petites molécules dans l'organisme, interviennent alors.
Dans quelques groupes comme les Cnidaires, les Plathelminthes ou les Annélides, la digestion chimique est partiellement intracellulaire. Chez la plupart des animaux, elle est cependant extracellulaire, réalisée dans la lumière digestive grâce à des enzymes sécrétées.
Dégradation enzymatique et absorption peuvent être effectuées dans un organe unique, développant parfois des diverticules comme les cæca ou l'hépatopancréas, mais par des types cellulaires différents (fiche 30). Des glandes digestives individualisées productrices d'enzymes, sont cependant souvent présentes, distinctes des régions absorbantes. Ce sont notamment les glandes salivaires, le foie et le pancréas chez les Vertébrés (fiche 35).
De manière générale, les structures impliquées dans l'absorption présentent une surface importante, grâce au développement de replis à l'échelle de l'organe ou de la cellule (fiches 30, 34). Augmentant le contact entre le contenu de la lumière du tube digestif et l'organisme, ils autorisent une absorption importante. Les tissus épithéliaux concernés sont formés d'une seule assise de cellules prismatiques. La barrière à franchir est peu épaisse, mais les cellules qui la constituent sont actives, capables de réaliser des échanges selon diverses modalités.
La portion terminale du tube digestif quant à elle intervient peu dans la fonction d'alimentation (fiches 30, 34). Elle contribue essentiellement au modelage des fèces, et réalise l'absorption sélective de quelques substances.

Les appareils digestifs sont des ensembles de structures anatomiques spécialisées dans la prise de nourriture, les transformations mécaniques et chimiques des aliments, ainsi que l'absorption des petites molécules en résultant 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 d'un hôte, baignent dans un milieu riche en petites molécules assimilables qu'ils absorbent à travers leur tégument (fiche 12).

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

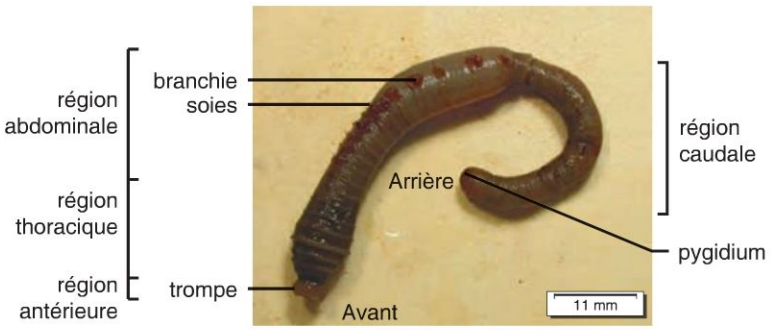


FIGURE 2

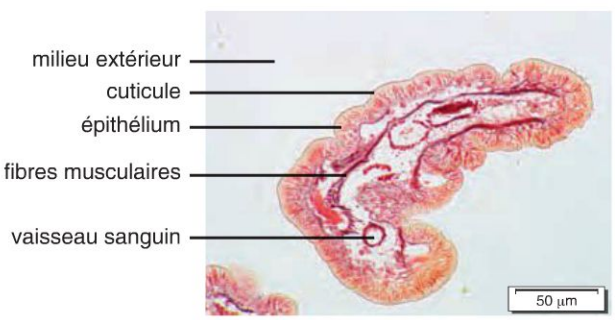


FIGURE 3

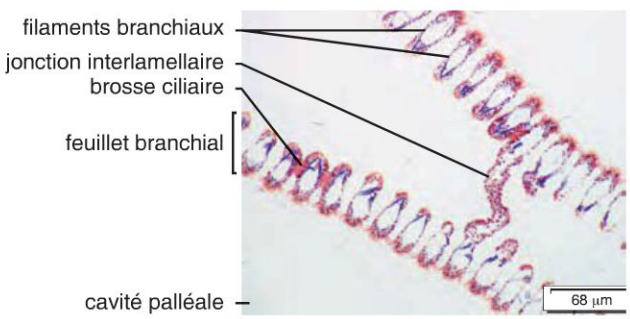


FIGURE 4

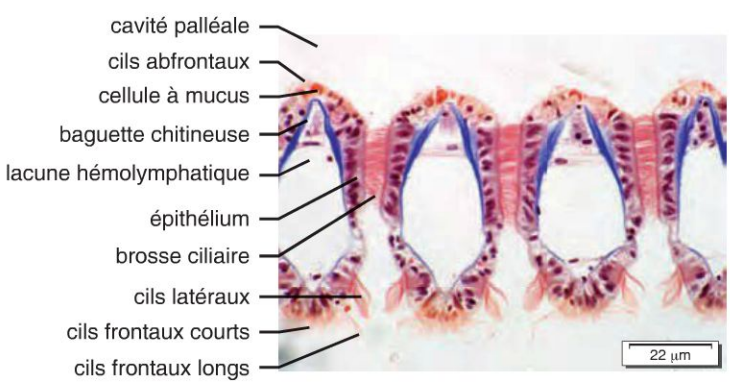
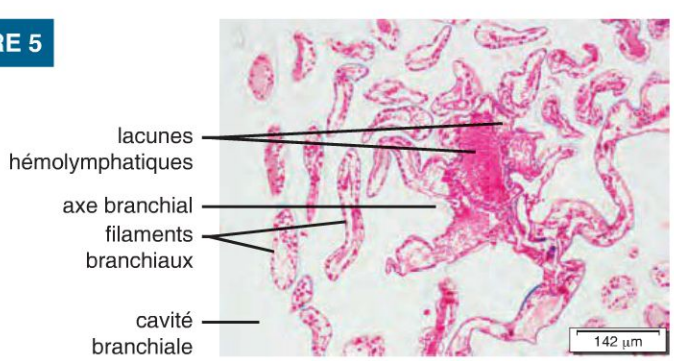


FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

Les échanges gazeux respiratoires et la diversité des appareils branchiaux en milieu aquatique

fiche 40

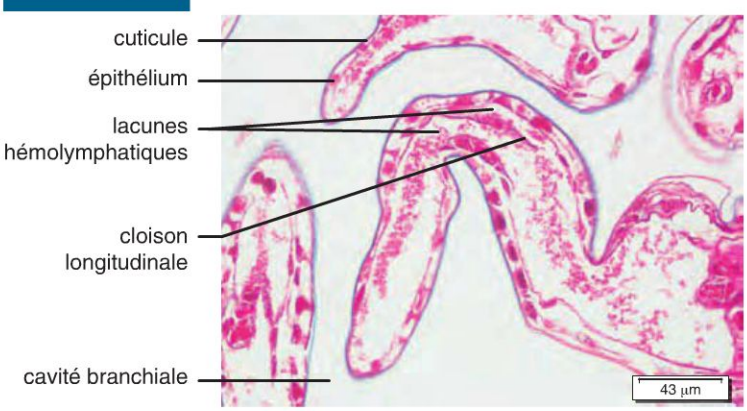
Les Métazoaires réalisent des échanges gazeux avec leur milieu de vie. Ils consistent principalement en une absorption de dioxygène et une évacuation de dioxyde de carbone, réalisées grâce aux appareils respiratoires. En milieu aquatique, les appareils respiratoires sont le plus souvent représentés par des branchies.

Figures 1. et 2. Les branchies de l'*Arénicole* : des expansions tégumentaires ramifiées et libres (*vue externe latérale et coupe longitudinale d'une branchie, microscope photonique*) L'*Arénicole* est sédentaire et vit en milieu sableux, dans un terrier. Son appareil respiratoire est représenté par des touffes branchiales paires, localisées dans la région abdominale du corps en position dorsale. Expansions ramifiées portées par les rames dorsales des parapodes, elles possèdent une paroi peu épaisse, constituée d'un épithélium simple prismatique surmonté d'une fine cuticule, à l'instar du tégument dont elles dérivent. Elles sont irriguées par des ramifications du vaisseau dorsal se dirigeant vers les autres vaisseaux longitudinaux. Le dioxygène 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. La ventilation est effectuée grâce aux contractions corporelles, assurant la circulation et le renouvellement de l'eau du terrier en particulier au contact des branchies.

Figures 3. et 4. Les branchies de la *Moule* : des lames à vocations respiratoire et alimentaire protégées par le manteau (*coupes transversales d'une branchie, microscope photonique*) La *Moule* possède des branchies constituées de multiples filaments repliés (fiches 10, 11). Les filaments voisins sont associés par des brosses ciliaires et forment des feuillets. Chaque filament porte des cils latéraux longs, dont les battements assurent la ventilation : ils génèrent une circulation d'eau traversant les branchies de la région ventrale vers la région dorsale. Les échanges gazeux sont réalisés entre l'eau et l'hémolymphe présente dans les lacunes des filaments, à travers l'épithélium simple et prismatique.
Des cils abfrontaux et frontaux, courts, ornent également les filaments. Ils assurent l'acheminement vers la bouche des particules alimentaires piégées par le filtre branchial et enrobées de mucus. Les branchies constituent ainsi l'organe de la prise de nourriture.

Figures 5. et 6. Les branchies de l'*Écrevisse* : des filaments protégés par un repli tégumentaire (*coupes transversales d'une branchie, microscope photonique*) L'appareil respiratoire de l'*Écrevisse* est représenté par de nombreux filaments simples, insérés sur des axes, disposition caractéristique des trichobranchies. La paroi des filaments branchiaux est constituée par un épithélium simple cubique, associé à une cuticule fine, en relation avec leur origine tégumentaire. Les gaz respiratoires sont échangés à travers cette paroi dont l'épaisseur est réduite et la surface étendue, entre l'eau contenue dans la cavité branchiale et l'hémolymphe circulant au cœur des filaments. La cloison longitudinale compartimentant chaque filament détermine le trajet de l'hémolymphe. Insérées sur les appendices, les membranes articulaires ou la paroi du corps au niveau du thorax, les branchies sont logées dans une cavité branchiale délimitée par un branchiostégite qui les protège (fiches 13, 14). L'eau qui les baigne est renouvelée grâce aux battements du scaphognathite maxillaire dans la cavité branchiale.

FIGURE 6



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

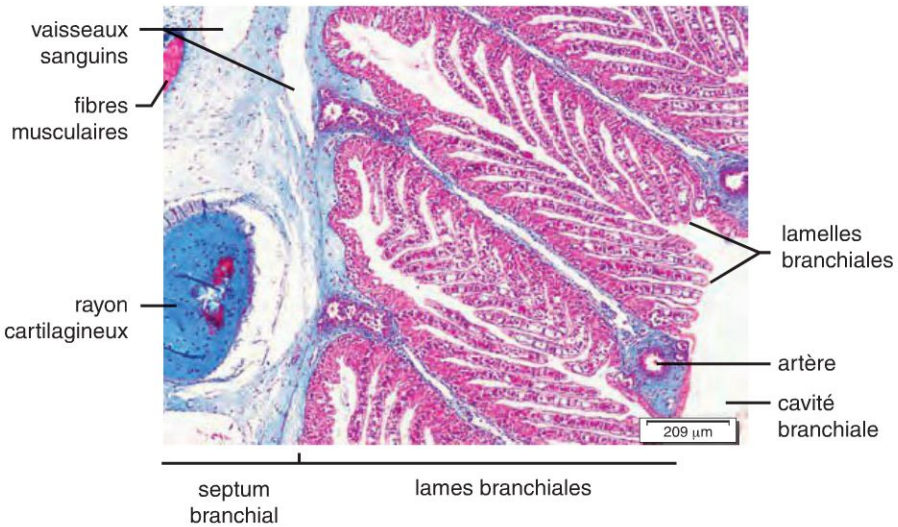


FIGURE 2

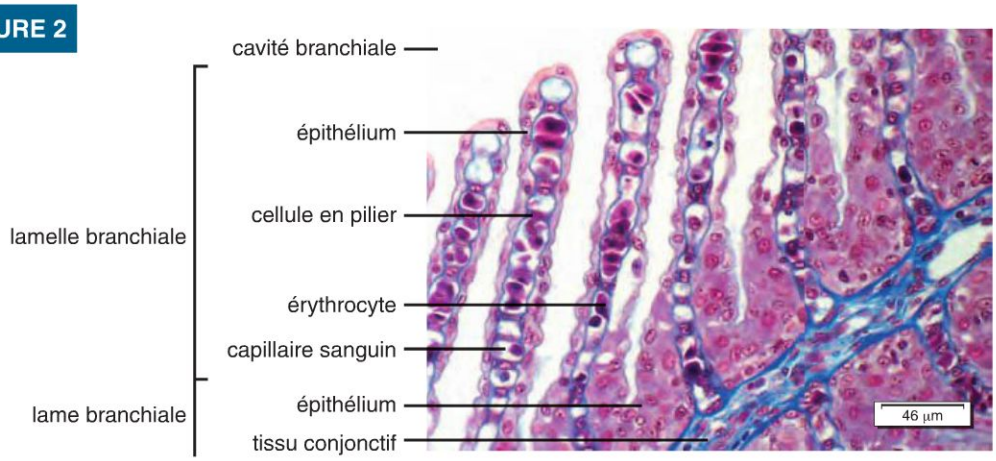


FIGURE 3

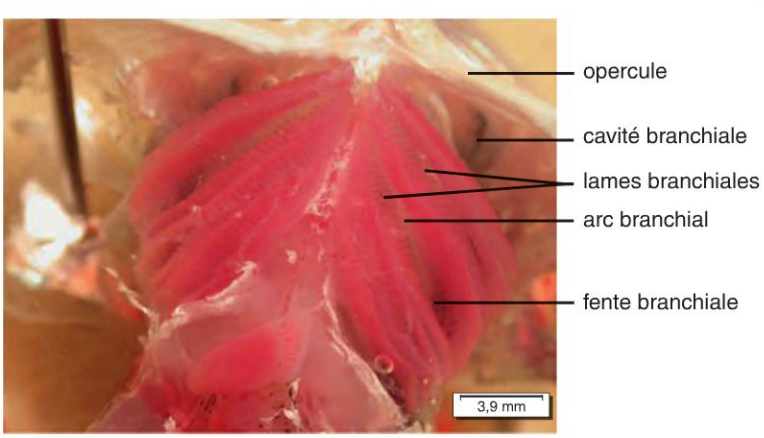
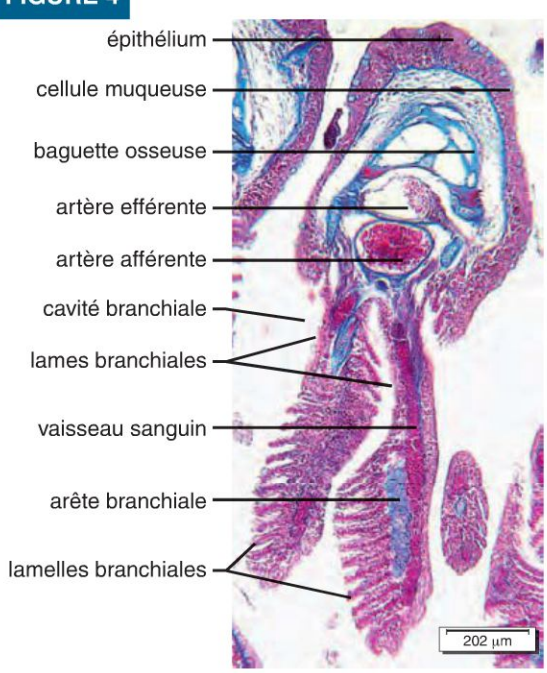


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Les échanges gazeux respiratoires et les appareils branchiaux des Vertébrés aquatiques

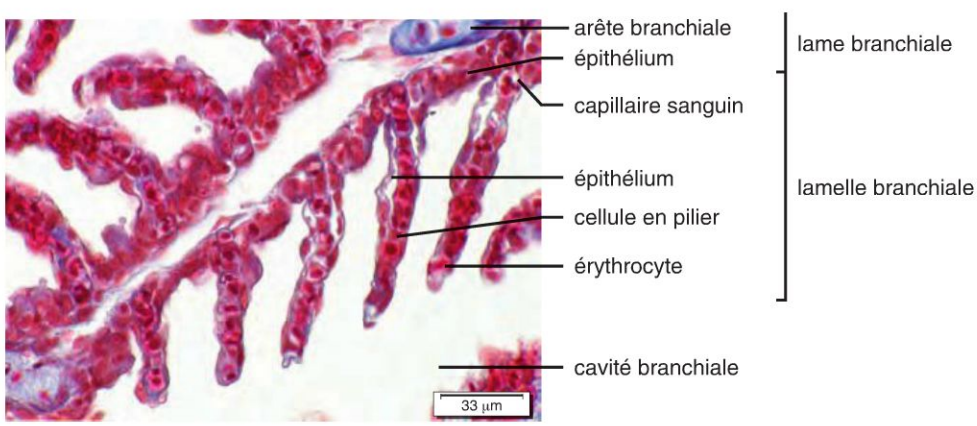
fiche 41

Les Vertébrés aquatiques, notamment représentés par les Sélaciens et les Téléostéens, réalisent des échanges gazeux respiratoires avec leur milieu de vie. Ils absorbent du dioxygène et rejettent du dioxyde de carbone grâce à un appareil respiratoire spécialisé correspondant à des branchies.

Figures 1. et 2. Les branchies septales de la *Roussette* : des lames pharyngiennes portées par un axe cartilagineux et musculeux (*coupes longitudinales, microscope photonique*) L'appareil respiratoire de la *Roussette*, Sélacien marin, est représenté par des expansions de la paroi du pharynx, insérées sur des cloisons entre lesquelles sont ménagées des fentes mettant en communication la lumière du pharynx et le milieu extérieur. Bordées d'un épithélium pluristratifié, les cloisons sont formées de tissus conjonctif et musculaire, et soutenues par des rayons cartilagineux. Un vaisseau sanguin afférent y apporte le sang chargé en dioxyde de carbone et deux vaisseaux sanguins efférents en drainent le sang riche en dioxygène. Elles portent des lames branchiales sur lesquelles sont insérées des lamelles. Chaque lamelle est bordée d'un épithélium simple et pavimenteux supporté par des cellules en pilier entre lesquelles chemine le sang au sein de vaisseaux capillaires. Les échanges gazeux respiratoires sont réalisés entre l'eau baignant les branchies et le sang. La ventilation, renouvellement de l'eau au contact des branchies, est due à l'activité des muscles branchiaux : l'eau entre par la bouche puis transite par les fentes de la paroi pharyngienne traversant les branchies. Les sens de circulation de l'eau et du sang au niveau des lamelles branchiales sont opposés, déterminant un dispositif à contre-courant qui contribue à une extraction efficace du dioxygène dissous.

Figures 3., 4. et 5. Les branchies des Téléostéens : des lames pharyngiennes libres portées par un arc branchial (*vue ventrale des cavités branchiales du* Gardon, *coupes transversale et longitudinale des branchies de* Truite, *microscope photonique*) Le *Gardon* et la *Truite*, exemples de Téléostéens, possèdent un appareil respiratoire branchial constitué de lames branchiales dont une extrémité est libre (fiches 22, 23). À l'opposé, elles sont insérées sur des arcs branchiaux soutenus par des baguettes osseuses, et disposés de part et d'autre de fentes pharyngiennes. Chaque lame comprend une arête branchiale de soutien, reçoit le sang d'un vaisseau sanguin afférent et l'évacue par un vaisseau sanguin efférent. Elle porte de nombreuses lamelles perpendiculaires à son axe, limitées par un épithélium simple et pavimenteux. Des cellules en pilier supportent l'épithélium et déterminent des espaces dans lesquels le sang circule. Les échanges gazeux se déroulent au niveau des lamelles entre le sang qu'elles contiennent et l'eau qui les baigne, à travers l'épithélium. Les branchies sont situées dans des cavités branchiales paires protégées par des opercules osseux et communiquant avec l'extérieur par des ouïes. L'eau y est amenée par le jeu d'une pompe buccopharyngée et d'une pompe operculaire : elle entre dans la bouche, traverse la paroi pharyngienne à la faveur des fentes séparant les arcs branchiaux, gagne les cavités branchiales puis est évacuée par les ouïes. Les sens de circulation de l'eau autour et du sang à l'intérieur des lamelles branchiales sont opposés. Circulant à contre-courant, ils autorisent un important taux d'extraction du dioxygène.

FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

FIGURE 2

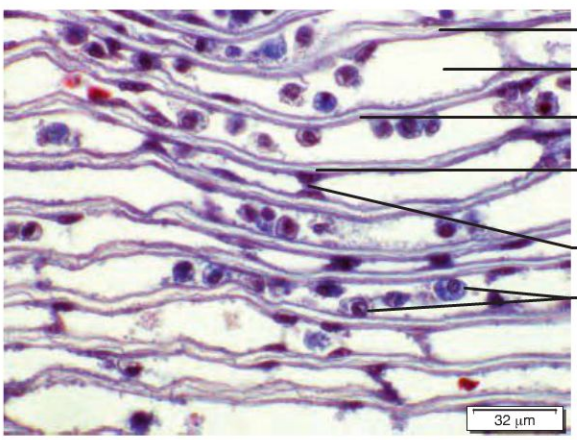


FIGURE 3

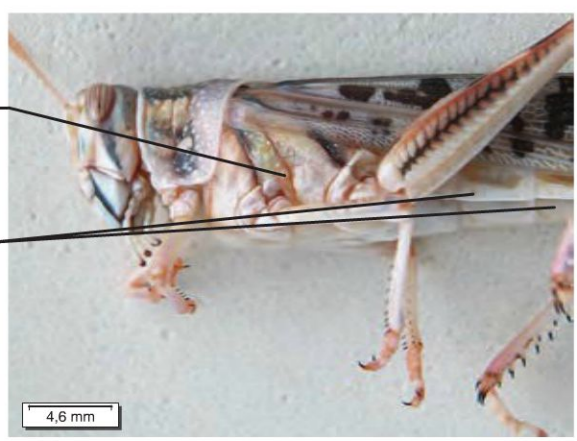
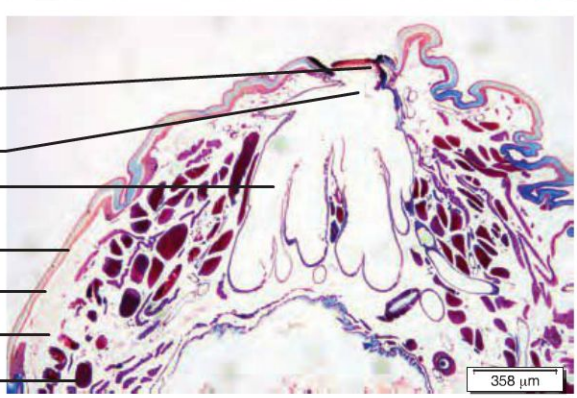


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Les échanges gazeux respiratoires et les appareils trachéens des Arthropodes aériens

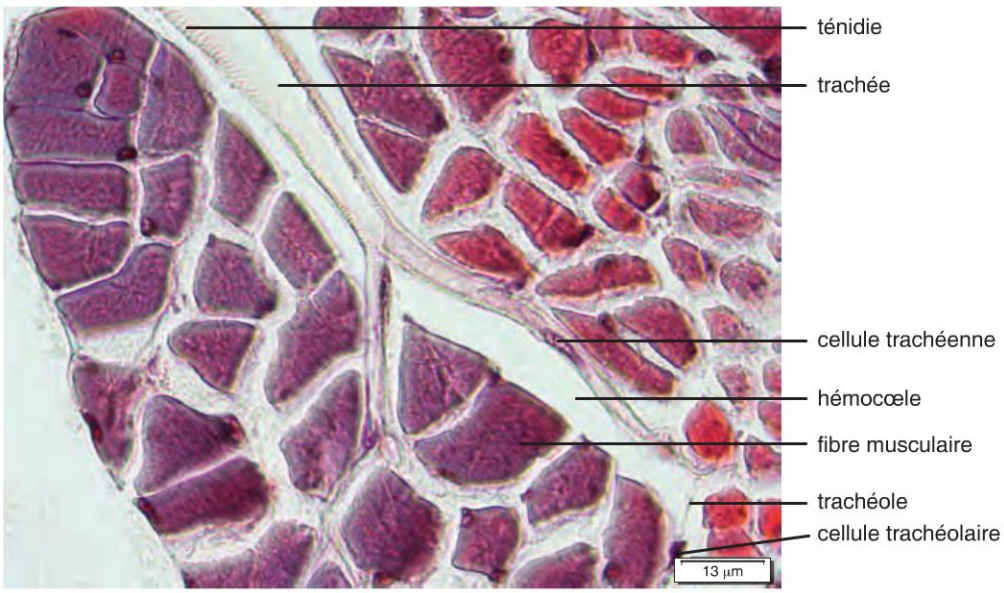
fiche 42

Les Métazoaires consomment du dioxygène et produisent du dioxyde de carbone, qu'ils prélèvent et rejettent respectivement, dans leur milieu de vie. En milieu terrestre, les appareils respiratoires sont généralement représentés par des trachées chez les Arthropodes.

Figures 1. et 2. Les phyllotrachées de l'*Araignée* : des échanges gazeux entre air et hémolymphe dans un poumon lamellaire (*coupes sagittales, microscope photonique*) L'*Araignée* possède, en position latérale dans son opisthosome, une (ou plusieurs) paire(s) de poumons. Invagination tégumentaire ouverte sur l'extérieur par un stigmate, le poumon comporte une chambre, l'atrium, et sa paroi forme de multiples replis ou lamelles. Chaque lamelle est bordée d'un épithélium simple et pavimenteux. Ses cellules présentent en coupe une forme en T, le corps cellulaire constituant un pilier soutenant l'expansion constituant la surface de la lamelle. Une fine cuticule hérissée de reliefs évitant le collapsus le recouvre du côté externe, tandis que l'hémolymphe circule au cœur des lamelles entre les piliers.
Les échanges gazeux sont réalisés à travers la cuticule et l'épithélium sous-jacent, représenté principalement par les régions cytoplasmiques des cellules. L'hémolymphe prend en charge le dioxygène prélevé dans l'air emplissant le poumon. La ventilation assurant le renouvellement de l'air du poumon résulte fréquemment d'une simple diffusion, des muscles associés à l'atrium sont quelquefois responsables d'une ventilation active. Un appareil respiratoire trachéen vient parfois compléter l'appareil pulmonaire.

Figures 3., 4., et 5. Les trachées des Insectes : des échanges gazeux directs avec les cellules grâce à un réseau de tubes ramifiés (*vue latérale de la région antérieure du* Criquet *coupe longitudinale de stigmate de* Ver à soie, *coupe longitudinale de trachée de* Grillon, *microscope photonique*) Les Insectes possèdent un appareil respiratoire composé d'invaginations tégumentaires tubuleuses, les trachées (fiche 15). Elles sont ouvertes sur l'extérieur par des stigmates qui présentent parfois des dispositifs d'obturation et/ou de filtration de l'air. Ils débouchent sur une chambre ou atrium. De gros troncs trachéens en partent et s'enfoncent dans l'organisme. Leurs ramifications sont présentes dans tous les organes, leur diamètre diminuant au fur et à mesure. Au sein des organes, elles sont associées à des cellules étoilées appelées cellules trachéolaires ; elles y forment des canalicules intracytoplasmiques contenant du liquide. La paroi des trachées est constituée d'un épithélium simple et cubique de cellules trachéennes, en continuité avec l'épiderme. Il est doublé d'une fine cuticule, comportant des épaississements spiralés ou annelés nommés ténidies, qui contribuent à éviter l'affaissement des trachées. Le dioxygène est distribué directement aux organes par ce dispositif extrêmement ramifié. Il diffuse à travers le liquide trachéolaire avant d'atteindre les cellules consommatrices. Le dioxyde de carbone parcourt le chemin inverse. La ventilation, renouvellement de l'air des trachées, est réalisée passivement chez les Insectes de petite taille ou grâce à une expulsion active chez les Insectes de taille importante. Des sacs aériens, dilatations des gros troncs trachéens présentes chez les Insectes bons voiliers, peuvent également y contribuer.

FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 2

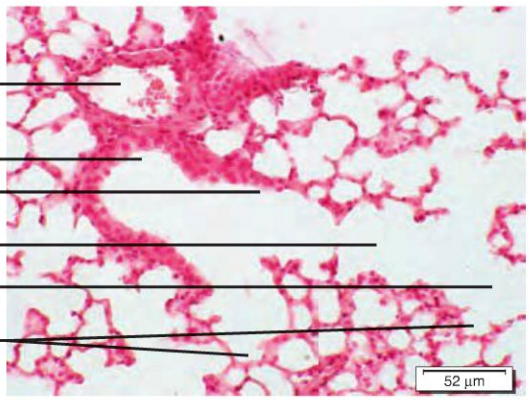


FIGURE 3

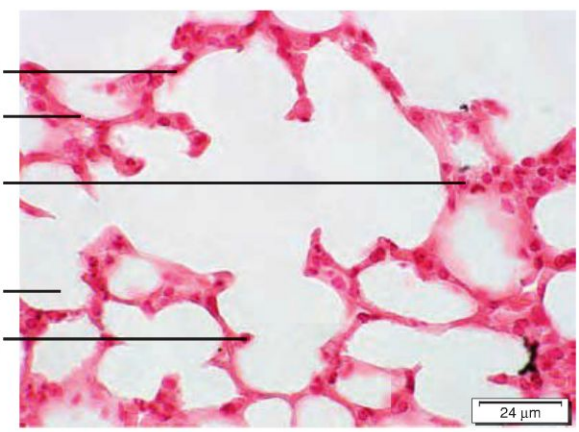


FIGURE 4

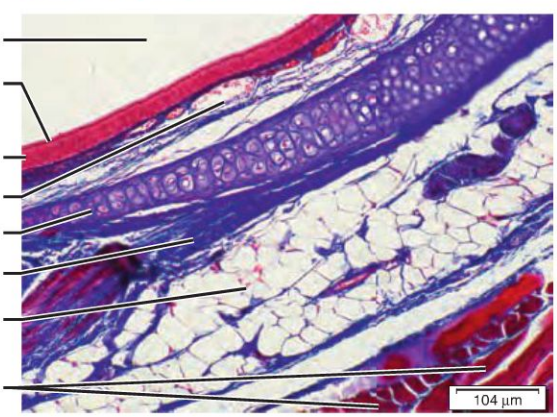
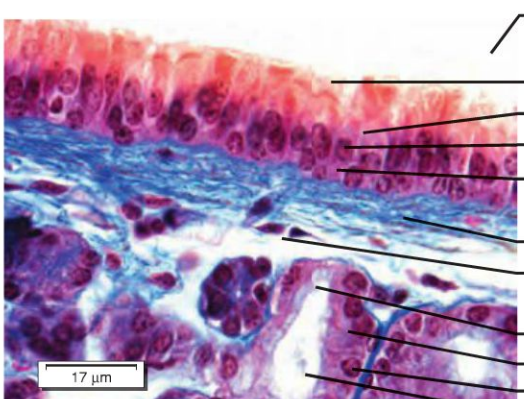


FIGURE 5



lumière
Cellule épithéliale :
ciliature
membrane plasmique
noyau
cytoplasme
Tissu conjonctif :
faisceau de fibres de collagène
fibrocyte
Glande muqueuse :
poche de mucus
cytoplasme
noyau
lumière

épithélium
chorion

Copyright © 2015 Dunod.

Les échanges gazeux respiratoires et les appareils pulmonaires des Mammifères

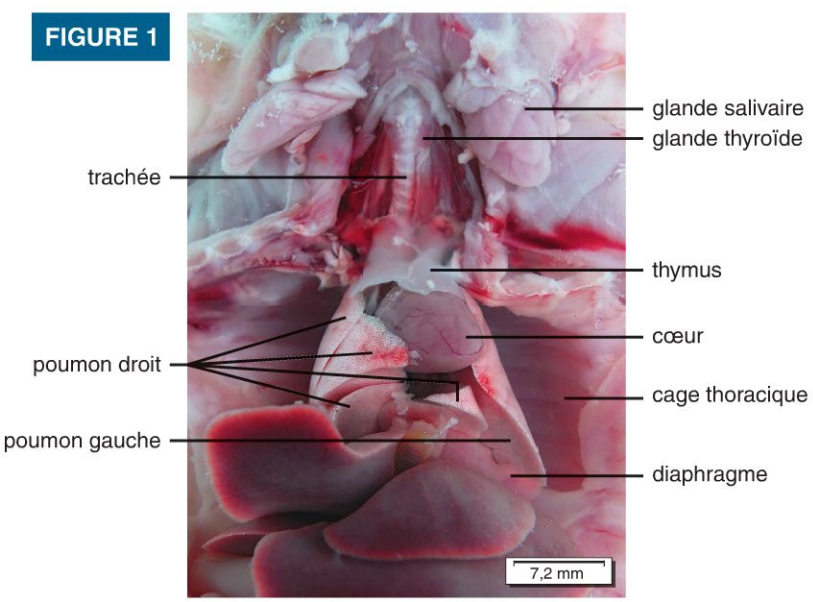
fiche 43

Les Vertébrés terrestres, notamment représentés par les Mammifères, réalisent des échanges gazeux respiratoires avec leur milieu de vie. Ils absorbent du dioxygène et rejettent du dioxyde de carbone grâce à des organes respiratoires spécialisés, correspondant à des poumons.

Figures 1., 2. et 3. Les poumons des Mammifères : des alvéoles respiratoires à l'extrémité de conduits ramifiés (*vue ventrale du thorax de la* Souris, *coupes transversales de poumon de* Rat, *microscope photonique*) Chez les Mammifères, l'appareil respiratoire est composé d'organes respiratoires pairs, les poumons, et de voies respiratoires extrapulmonaires, la trachée et les bronches (fiche 26). Dans le cas de la *Souris*, le poumon droit est divisé en quatre lobes, alors que le poumon gauche n'en comporte qu'un. Les voies respiratoires sont ramifiées à l'intérieur des poumons, formant des bronches et bronchioles d'ordres successifs. Les bronchioles terminales sont bordées par un épithélium simple cubique, doublé de tissu conjonctif et entouré d'une tunique de fibres musculaires lisses. Elles débouchent sur des canaux alvéolaires terminés par des alvéoles. La paroi pulmonaire apparaît très plissée, formant un parenchyme. Les poumons sont en conséquence qualifiés de parenchymateux.
La paroi des alvéoles est composée d'un épithélium simple où alternent des cellules pavimenteuses appelées pneumocytes I et des cellules plus hautes nommées pneumocytes II. Ces derniers élaborent le surfactant, un film qui s'étale à la surface des alvéoles et évite leur collapsus. Sous l'épithélium, étroitement associé à du tissu conjonctif, court un réseau de capillaires sanguins. La diffusion des gaz respiratoires est réalisée à travers les pneumocytes I, le tissu conjonctif et la paroi des capillaires. La ventilation pulmonaire est assurée par des cycles d'inspirations et d'expirations mettant en jeu les muscles intercostaux et le diaphragme.

Figures 4. et 5. La trachée des Mammifères : un conduit ramifié en bronches et bronchioles, acheminant l'air entre milieu et alvéoles respiratoires (*coupes transversales, microscope photonique*) La paroi de la trachée des Mammifères est formée d'un épithélium pseudostratifié dans lequel 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 maintenir la trachée béante. Présents dans une grande partie de l'arbre respiratoire, ils perdent leur régularité dans les bronches intrapulmonaires et disparaissent dans les bronchioles. L'ensemble de ces structures achemine l'air entre le pharynx et les surfaces respiratoires, dans les deux sens, contribuant au renouvellement de l'air au contact de la surface d'échange des gaz respiratoires.

FIGURE 1



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

FIGURE 2

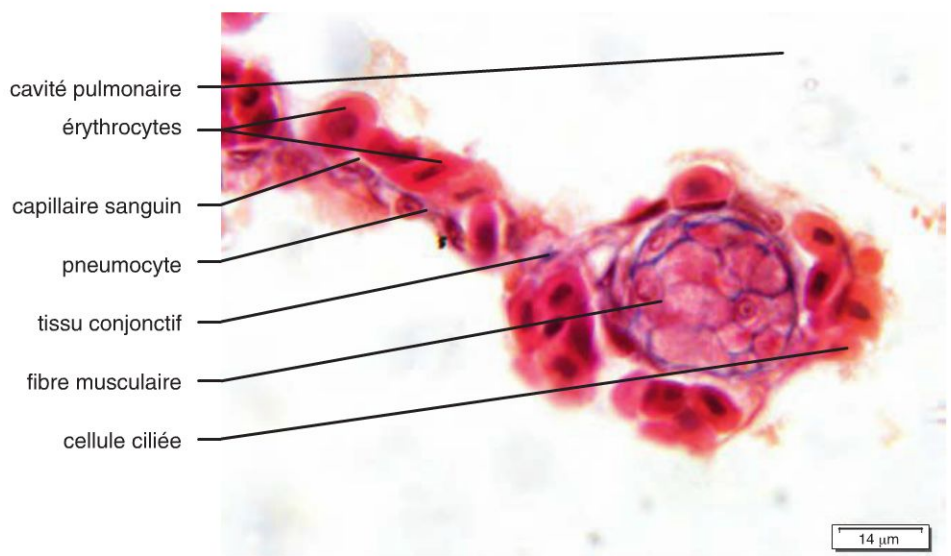
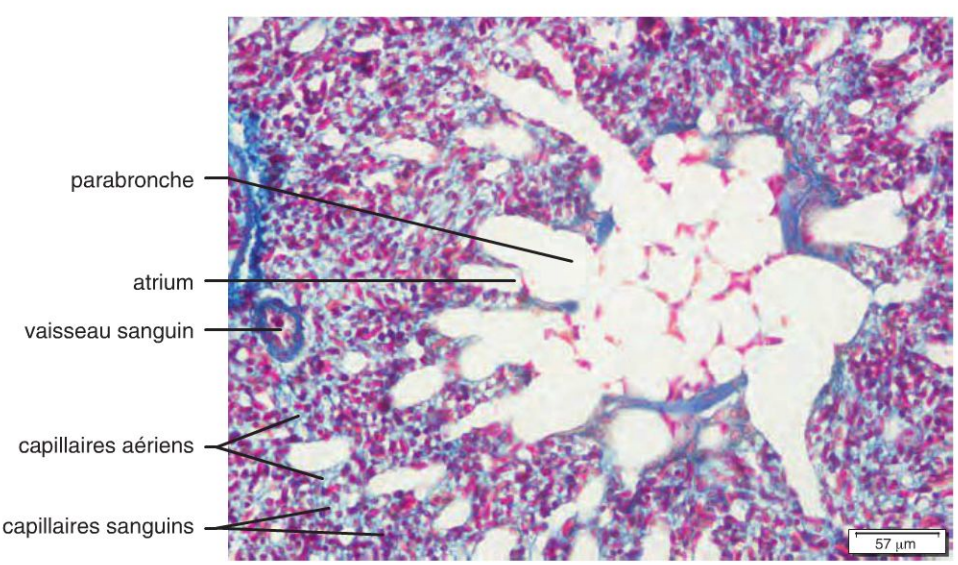


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Les échanges gazeux respiratoires et la diversité des appareils pulmonaires des Vertébrés aériens

fiche 44

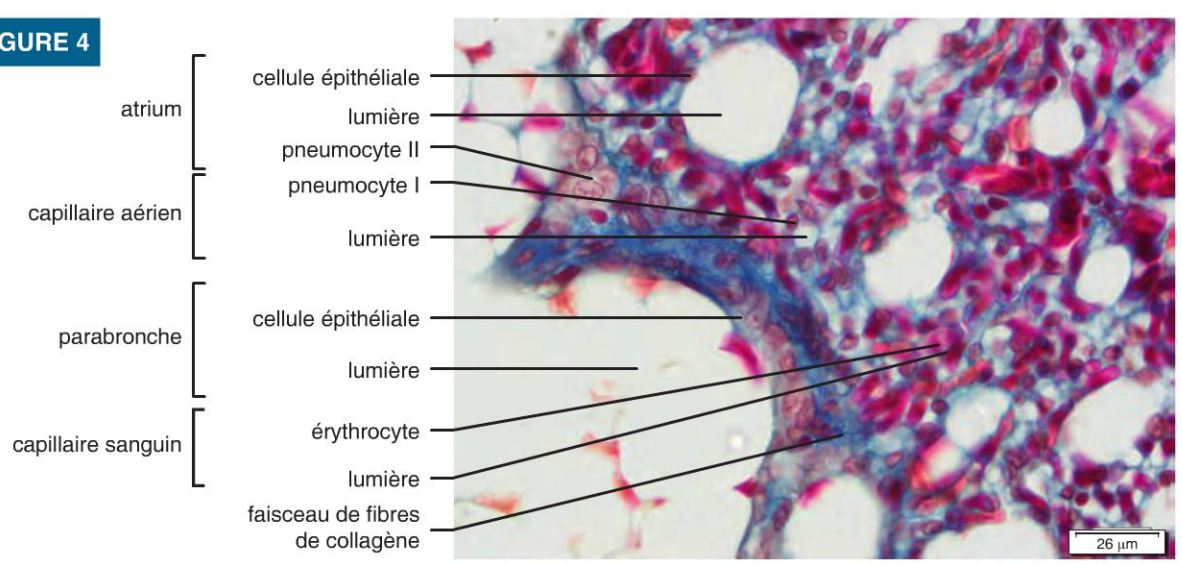
Les Vertébrés terrestres possèdent de manière générale un appareil respiratoire pulmonaire spécialisé dans la réalisation des échanges gazeux respiratoires. Siège de l'absorption du dioxygène nécessaire au métabolisme et du rejet du dioxyde de carbone, déchet du métabolisme, il présente une relative diversité liée aux groupes considérés.

Figures 1. et 2. Les poumons du *Lézard* : des organes d'échange sacculaires et des voies respiratoires peu développées (*coupes transversales, microscope photonique*) Le *Lézard*, de même que la *Grenouille,* possède une paire de poumons, formés à partir du pharynx. Ils se présentent comme deux sacs possédant une cavité centrale et en conséquence sont qualifiés de sacculaires ou cavitaires. Leur paroi est soulevée de cloisons ou septa primaires, replis de premier ordre, et de cloisons secondaires insérées sur les précédentes. Elles déterminent quelques alvéoles. Le bord libre des cloisons est épaissi 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 et pavimenteux, composé de pneumocytes, qui les tapisse et la paroi des capillaires sanguins qui y sont logés. Des voies respiratoires représentées par une trachée et des bronches assurent la conduction de l'air du milieu aux poumons. La ventilation est effectuée grâce à l'activité des musculatures thoracique et abdominale.

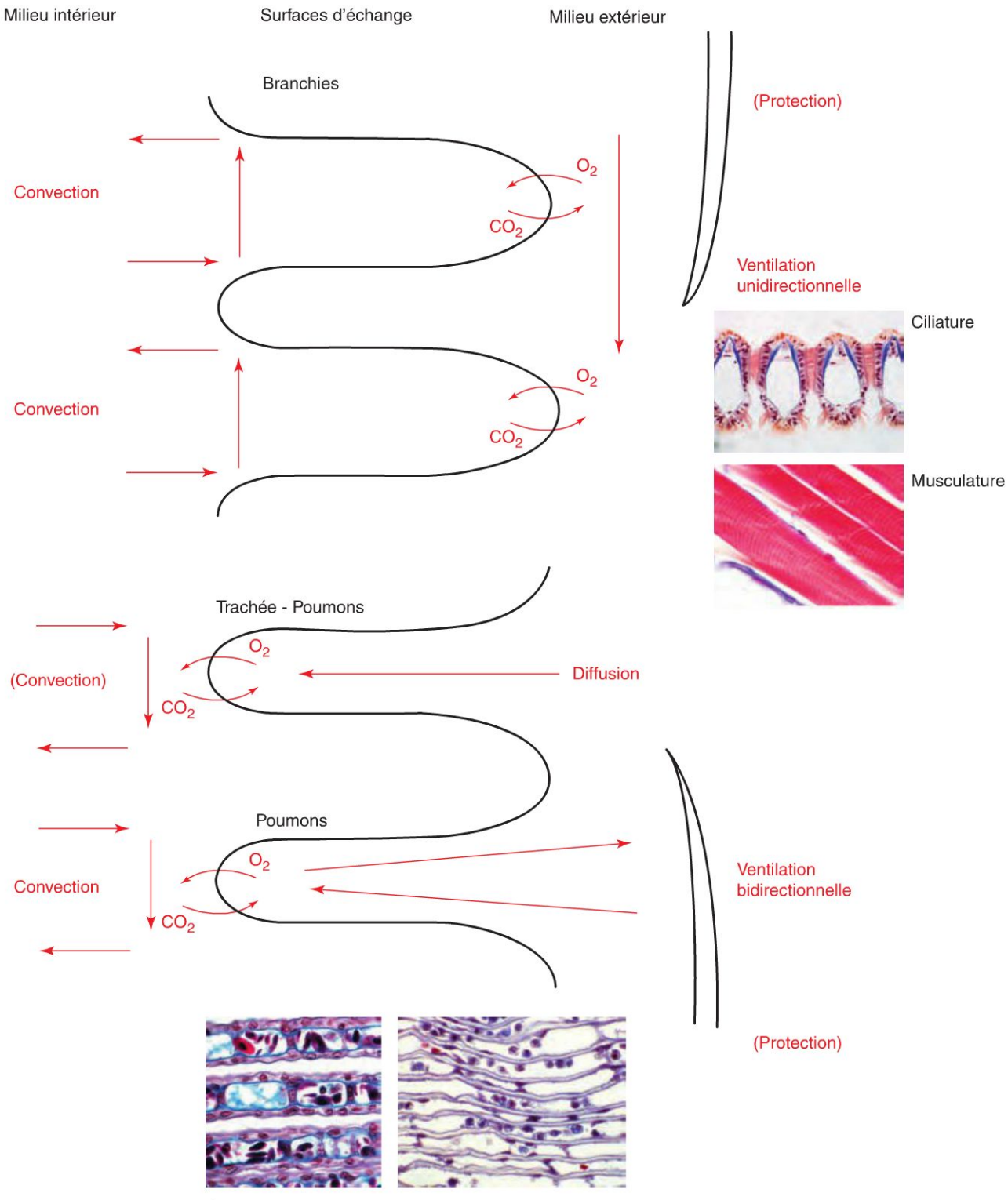
Figures 3. et 4. Les poumons du *Martinet* : des organes d'échange tubulaires dissociés du dispositif de ventilation (*coupes longitudinales, microscope photonique*) Les Oiseaux, dont le *Martinet* est un exemple, possèdent des poumons dépourvus d'alvéoles. Les bronches primaires pénètrent dans les poumons et émettent de nombreuses bronches secondaires dorsales et ventrales, qui communiquent entre elles par une série de tubes parallèles, les bronches tertiaires ou parabronches. Des cavités, les atriums, en émanent, à partir desquelles de fins tubes remplis d'air rayonnent. Appelés capillaires aériens, ils forment un réseau entre les parabronches adjacentes, entrelacé avec un réseau de capillaires sanguins. Du fait de la ramification complexe des voies bronchiques, les poumons des Oiseaux sont qualifiés de tubulaires. L'épithélium des capillaires aériens est simple, pavimenteux et formé de pneumocytes I. Il est séparé des capillaires sanguins par une fine couche de tissu conjonctif. La surface d'échange des gaz respiratoires est constituée de l'épithélium des capillaires aériens, l'endothélium des capillaires sanguins et le tissu conjonctif fibreux intercalé.
La ventilation du poumon est le fait de sacs aériens extrapulmonaires localisés sur le trajet des bronches primaires et secondaires principales. Elle permet une circulation unidirectionnelle de l'air dans les capillaires aériens. Du fait de la disposition relative des capillaires aériens et sanguins, des courants croisés d'air et de sang sont observés, contribuant à l'efficacité de l'extraction du dioxygène de l'air.

La comparaison des appareils respiratoires pulmonaires des Vertébrés terrestres (fiches 43, 44) révèle leur évolution. Elle est marquée par le développement d'une surface d'échange importante dont le collapsus est évité de manière générale par la production de surfactant à propriétés tensioactives, mais aussi par la formation de voies respiratoires complexes.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.



Épithélium simple, pavimenteux

Copyright © 2015 Dunod.

Unité et diversité des échanges gazeux et des appareils respiratoires des animaux

fiche 45

Le métabolisme des cellules animales correspond à une respiration : les nutriments issus de l'alimentation subissent des oxydations libérant de l'énergie, utilisée dans le cadre du fonctionnement cellulaire. Ces réactions nécessitent du dioxygène et produisent du dioxyde de carbone.
Le dioxygène est prélevé dans le milieu de vie et le dioxyde de carbone produit y est rejeté. Les appareils respiratoires sont les dispositifs anatomiques spécialisés dans la réalisation de ces échanges gazeux.

Les branchies, évaginations du tégument ou de la paroi pharyngienne, sont les appareils respiratoires les plus fréquemment rencontrés en milieu aquatique (fiches 40, 41). Inversement, en milieu terrestre, les trachées et poumons, invaginations du tégument ou de la paroi pharyngienne, constituent la majorité des appareils respiratoires (fiches 42, 43, 44). Quelques rares cas font exception, comme celui des Échinodermes holothurides qui, bien qu'aquatiques, effectuent des échanges gazeux respiratoires grâce à un arbre respiratoire pulmonaire, prélevant le dioxygène dissous dans l'eau et rejetant de même le dioxyde de carbone.
Les contraintes physico-chimiques imposées par le milieu de vie expliquent cette diversité des appareils respiratoires. Le milieu aquatique est relativement pauvre en dioxygène dissous notamment en raison du faible coefficient de solubilité de ce gaz dans l'eau. Par ailleurs ce milieu est relativement dense et visqueux. À l'inverse, le milieu aérien est riche en dioxygène, peu dense et peu visqueux. Il est cependant desséchant car pauvre en eau.
La satisfaction des besoins en dioxygène des animaux aquatiques implique le traitement d'un important volume d'eau. Sa mise en mouvement consomme une grande quantité d'énergie ce qui explique que dans la plupart des cas, la ventilation des appareils respiratoires est unidirectionnelle en milieu aquatique (elle est bidirectionnelle chez les Échinodermes holothurides). Par comparaison, les animaux terrestres peuvent obtenir une quantité plus importante de dioxygène en traitant un volume d'air réduit. Sa mise en mouvement est peu coûteuse en énergie et autorise une ventilation bidirectionnelle, qui est très fréquente en milieu aérien (sauf dans le cas des Oiseaux notamment). L'évaporation d'eau au niveau des surfaces respiratoires est évitée par l'internalisation des surfaces d'échange.

Dans tous les cas, les échanges gazeux sont réalisés par diffusion simple, selon les gradients de pressions partielles des gaz concernés, au niveau de structures anatomiques dont la surface est importante et l'épaisseur réduite. Ces caractéristiques permettent une importante efficacité de la diffusion. De part et d'autre de la surface d'échange, la convection du milieu extérieur, ou ventilation, et la convection du milieu intérieur, ou circulation, favorisent également la diffusion des gaz respiratoires. Elles contribuent à maintenir les gradients des pressions partielles 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 corrélativement souvent internalisées ou protégées.

L'organisation des appareils respiratoires des animaux, spécialisés dans l'approvisionnement de l'organisme en dioxygène et dans l'évacuation du dioxyde de carbone, est à relier au milieu de vie dans lequel ils évoluent. Elle dépend en outre de l'appartenance systématique (branchies ciliées chez les Eumollusques, branchies présentant une cuticule chez les Arthropodes aquatiques par exemple).
Il existe par ailleurs des animaux ne possédant pas d'appareil respiratoire spécialisé et réalisant les échanges gazeux à travers leur tégument. C'est le cas des Annélides oligochètes comme le *Lombric*, et des Plathelminthes, qui sont dépourvus d'appareil respiratoire (fiches 7, 8, 12).

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

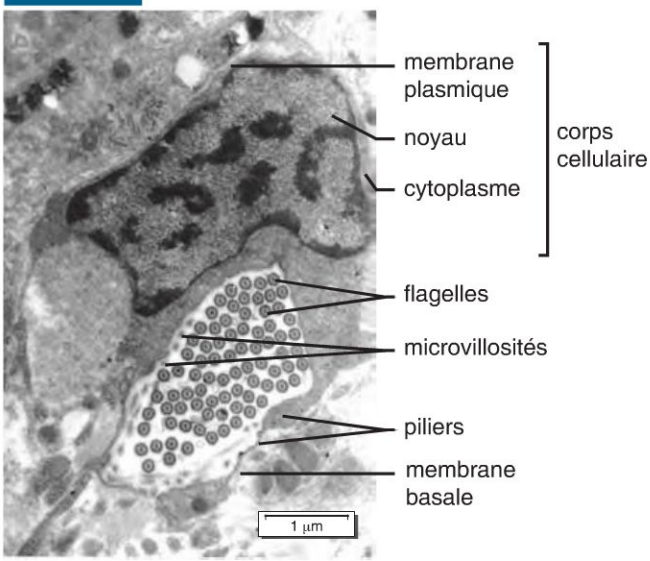


FIGURE 2

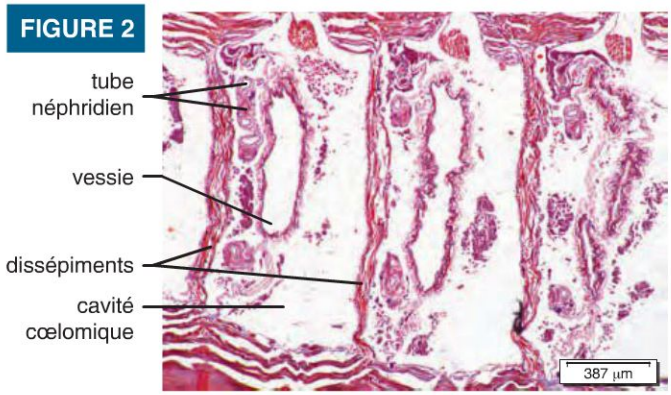


FIGURE 3

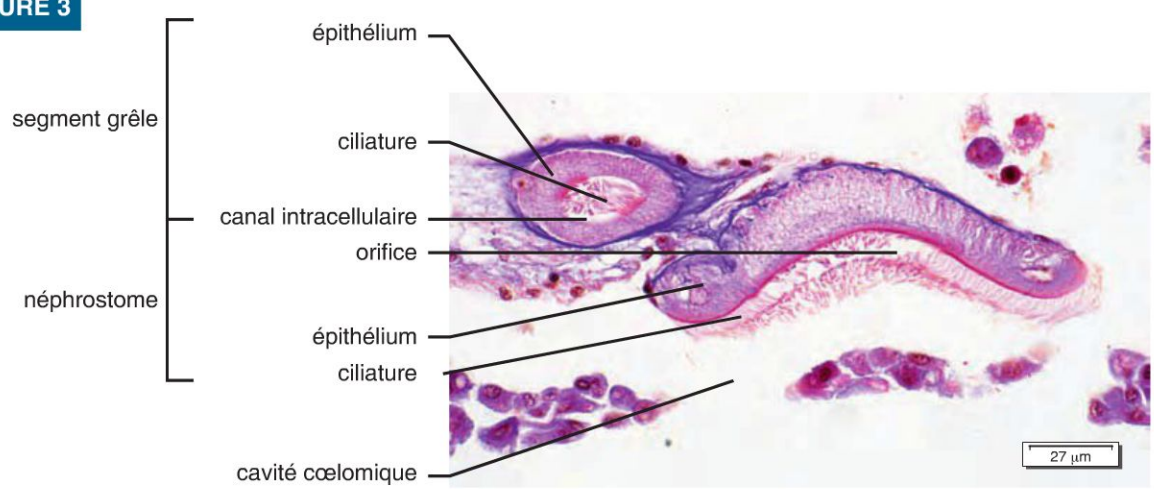
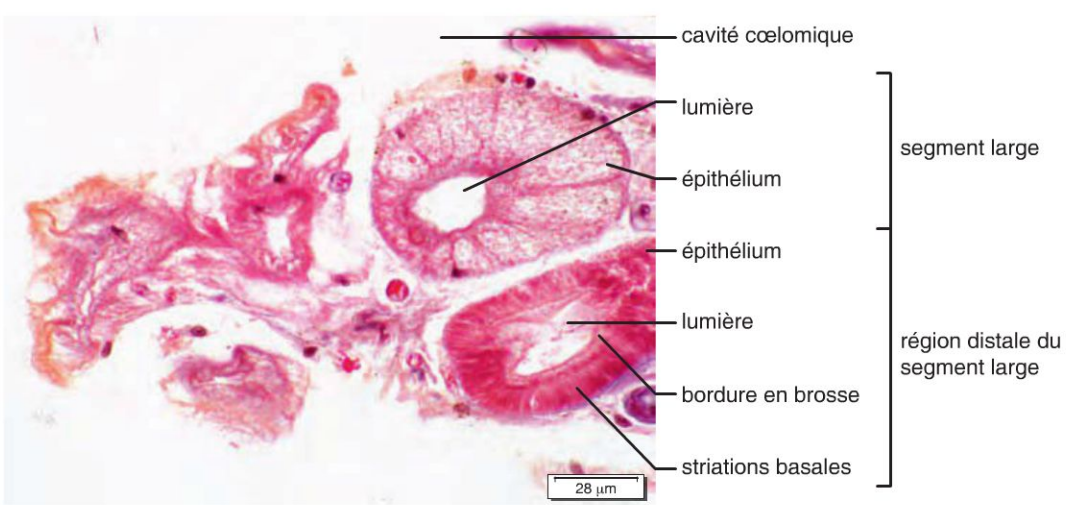


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

La production et l'évacuation de l'urine par les appareils néphridiens

fiche 46

Le métabolisme des cellules animales implique l'utilisation de nutriments et de dioxygène. Il produit des déchets comme le dioxyde de carbone, l'eau et diverses substances azotées (urée, acide urique, ammoniaque). L'élimination des déchets du métabolisme par l'organisme correspond à la fonction d'excrétion. Ce terme est généralement élargi à l'élimination de toutes les substances présentes en excès dans l'organisme comme les ions et substances toxiques. L'excrétion contribue dès lors à l'osmorégulation et l'ionorégulation, et ainsi au maintien de l'équilibre hydrominéral de l'organisme.

Figure 1. Les protonéphridies de la *Planaire* : une filtration du liquide interstitiel par des cyrtocytes (*microscopie électronique à transmission*) Les *Planaires* possèdent un appareil excréteur formé de cyrtocytes, ou cellules flamme, dispersés dans le mésenchyme (fiche 12). Elles sont constituées d'un corps cellulaire et d'un prolongement tubulaire au sein duquel battent de nombreux flagelles. Ce prolongement est en continuité avec un réseau de canaux collecteurs ouverts individuellement sur l'extérieur par des pores urinaires ou convergeant préalablement vers un conduit urinaire parfois renflé en une vessie. Le battement des flagelles dans le prolongement tubulaire 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 contient les déchets, chemine dans les canaux de l'appareil excréteur, y subit des réabsorptions et sécrétions sélectives et donne ainsi naissance à l'urine définitive émise dans le milieu.
De par son organisation caractérisée par des cellules excrétrices flagellées associées à des tubes collecteurs et son fonctionnement, cet appareil est qualifié de protonéphridien.

Figures 2., 3. et 4. Les métanéphridies du *Lombric* : une filtration du liquide cœlomique par un néphrostome (*coupes longitudinale et transversales, microscope photonique*) Le *Lombric* possède une paire d'organes excréteurs par métamère (fiches 7, 8). Ils sont constitués d'un pavillon cilié ouvert sur la cavité cœlomique du métamère *n*, le néphrostome, et d'un tube néphridien contourné débouchant sur l'extérieur par un néphridiopore dans le métamère *n* +1. Le tube néphridien comporte plusieurs segments successifs dont le diamètre et la structure histologique diffèrent. Le segment grêle fait suite au néphrostome ; de diamètre faible et 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. Enfin la dernière région, dilatée, constitue la vessie urinaire. Sa paroi est constituée d'un épithélium simple cubique, dont les cellules possèdent une bordure en brosse.
Le liquide circulant dans les vaisseaux sanguins est filtré à travers la paroi des cavités cœlomiques. Le battement des cils du néphrostome entraîne le liquide cœlomique contenant les déchets dans le tube néphridien. L'urine primitive ainsi formée passe dans le segment grêle où une sécrétion de déchets azotés 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 hypoosmotique par rapport au liquide cœlomique, d'autant plus que l'animal vit dans un sol plus humide. L'appareil excréteur permet l'évacuation des déchets du métabolisme 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 hyperosmotiques. Au niveau des surfaces corporelles perméables comme le tégument, l'eau tend à envahir ses tissus par osmose tandis que les ions tendent à diffuser vers le milieu. L'élimination d'une urine hypoosmotique permet l'évacuation de l'eau excédentaire alors 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, ou chloragocytes, associées tube digestif contribuent également à l'excrétion, agissant comme des reins d'accumulation.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

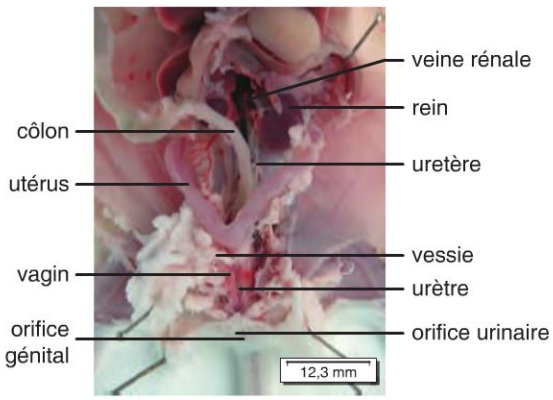


FIGURE 2

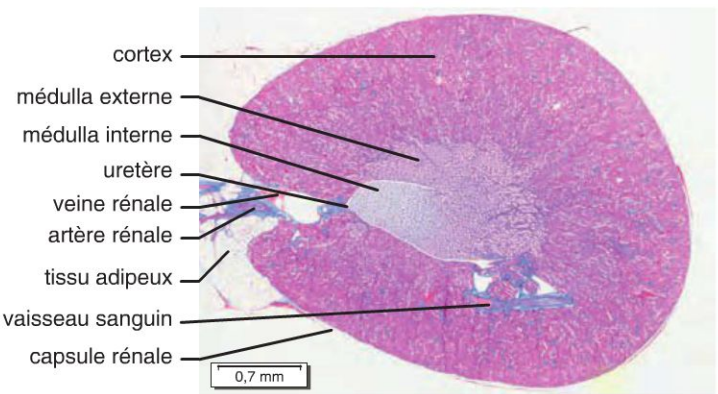


FIGURE 3

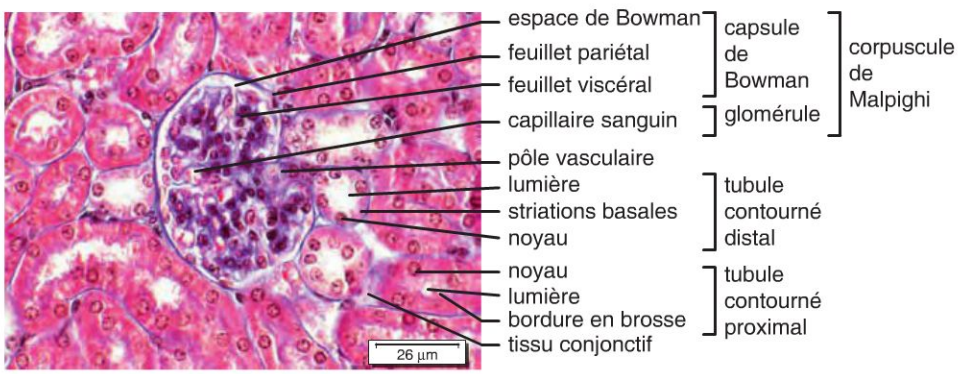


FIGURE 4

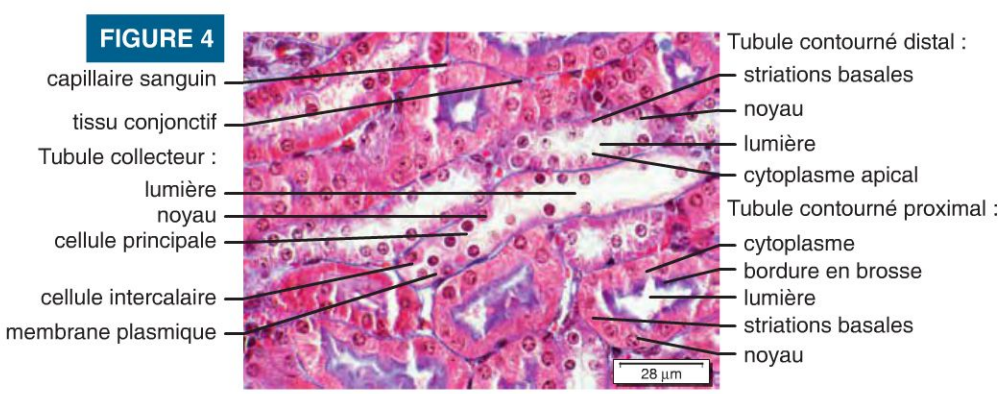
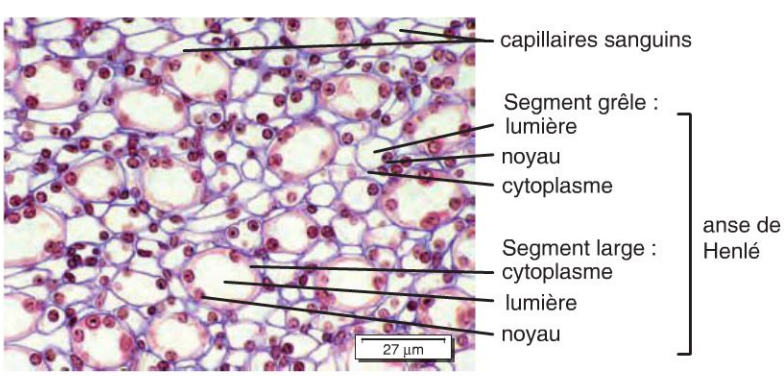


FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

La production et l'évacuation de l'urine par les appareils rénaux

fiche 47

Chez les Mammifères, l'appareil excréteur est représenté par des organes excréteurs associés à des voies urinaires. Les premiers sont responsables de la production de l'urine à partir du sang contenant les déchets du métabolisme et les secondes de son évacuation vers le milieu.

Figures 1. et 2. L'appareil excréteur de la *Souris* : une filtration du sang par les reins (*vue ventrale, coupe transversale, stéréomicroscope*) L'appareil excréteur de la *Souris* est composé de deux reins abdominaux et dorsaux, réalisant la production de l'urine (fiche 26). Chaque rein est entouré d'une capsule conjonctive et formé de deux régions : un cortex périphérique et une médulla interne. Il est drainé par un uretère conduisant l'urine à une structure de stockage, la vessie, dont le contenu est émis dans un urètre impair ouvert sur l'extérieur par un orifice urinaire. Les reins correspondent aux organes excréteurs, les uretères, la vessie et l'urètre composent les voies urinaires.

Figures 3., 4. et 5. Les reins de la *Souris* : des néphrons producteurs d'urine (*coupes transversales, microscope photonique*) Les reins des Vertébrés sont formés d'unités structurales et fonctionnelles appelées néphrons. Chez les Mammifères comme la *Souris*, un néphron est constitué d'une capsule de Bowman et d'un tubule.

La capsule de Bowman est formée de deux feuillets, pariétal et viscéral, ménageant entre eux un espace dit de Bowman. Elle est étroitement associée à un bouquet de capillaires sanguins artériels appelé glomérule. L'ensemble constitue le corpuscule de Malpighi au niveau duquel est réalisée la filtration du sang circulant dans les capillaires. Le liquide contenant les déchets traverse la paroi des vaisseaux sanguins puis le feuillet viscéral de la capsule de Bowman et devient l'urine primitive dans l'espace de Bowman.

Le tubule urinaire est successivement formé :

- d'un tubule contourné proximal bordé par un épithélium simple et cubique, muni d'une bordure en brosse ;
- d'une anse de Henlé en forme de U, dont l'épithélium est simple, pavimenteux pour la branche descendante et cubique pour la branche ascendante ;
- d'un tubule contourné distal à épithélium simple, cubique et dépourvu de bordure en brosse.

Le tubule urinaire débouche dans un tubule collecteur ouvert sur un canal collecteur.

Le corpuscule de Malpighi, les tubules contournés proximal et distal ainsi que le tubule collecteur sont localisés dans le cortex tandis que l'anse de Henlé et le canal collecteur sont situés dans la médulla.

L'urine circule le long du tubule urinaire. Elle subit d'importantes réabsorptions (glucides, acides aminés, ions, eau) ainsi que diverses sécrétions dans le tubule contourné proximal. La branche ascendante de l'anse de Henlé est le siège d'une réabsorption active d'ions sodium qui passent dans le liquide interstitiel puis dans la branche descendante, perméable à ces ions. Les branches descendante et ascendante forment un dispositif à contre-courant dans lequel la teneur en ions sodium de l'urine augmente au fur et à mesure de son transit dans la branche descendante et diminue ensuite dans la branche ascendante. Simultanément, un gradient de concentration en ions sodium, qualifié de corticomédullaire, est établi dans le liquide interstitiel. Le tubule 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 favorise 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.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

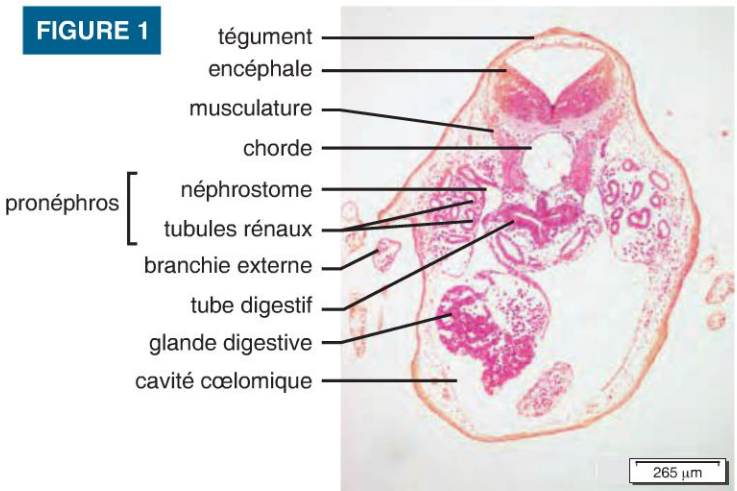


FIGURE 3

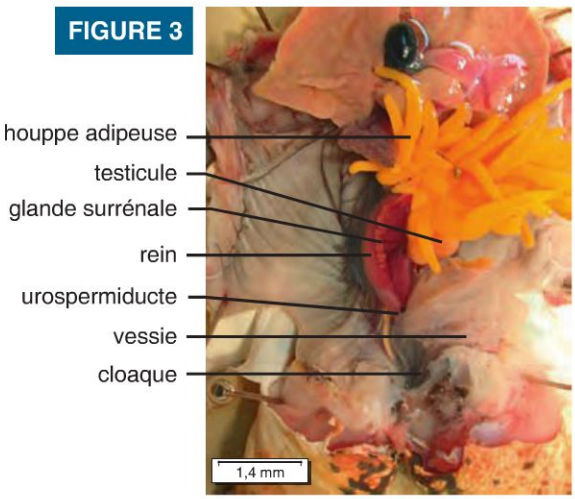


FIGURE 2

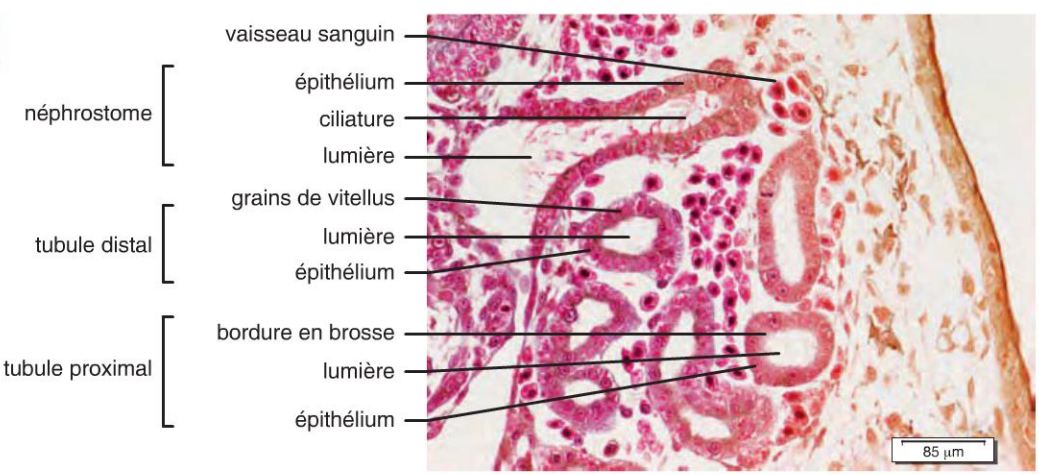
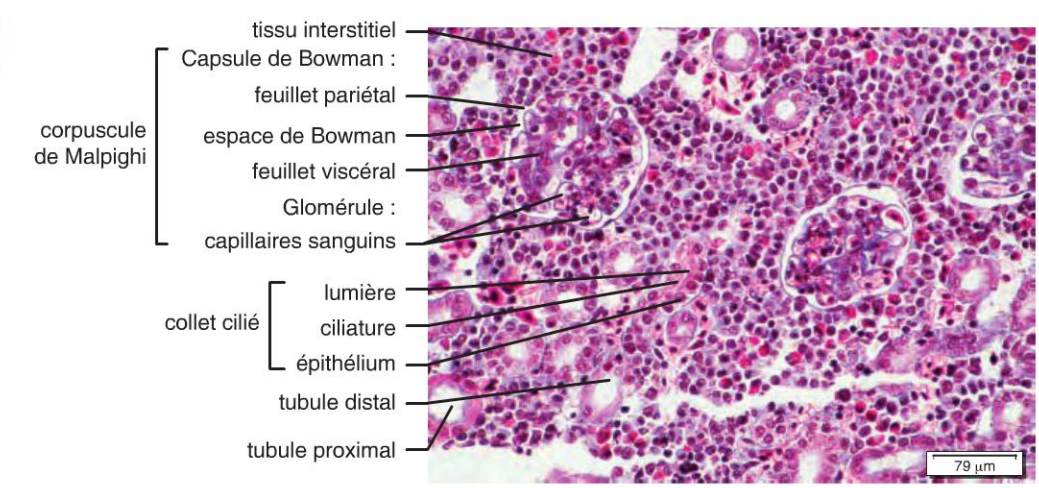


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

La production de l'urine et la diversité des reins des Vertébrés

fiche 48

L'appareil excréteur présente une organisation anatomique uniforme dans les divers groupes de Vertébrés. Il est composé de deux reins responsables de la production de l'urine et de voies urinaires impliquées dans son évacuation. Il en va différemment des néphrons, unités structurales et fonctionnelles du rein.

Figures 1. et 2. Le pronéphros du têtard de *Grenouille* : des néphrons ouverts à glomérule intracœlomique (*coupe transversale de têtard à l'éclosion, microscope photonique*) Chez l'embryon et la jeune larve de *Grenouille*, chaque néphron est composé d'un pavillon cilié appelé néphrostome, ouvert sur la cavité cœlomique. Un tubule contourné formé des deux régions lui fait suite. Il est bordé d'un épithélium simple et cubique, muni d'une bordure en brosse apicale dans la portion proximale, et dépourvu de cette structure dans la zone distale. Il débouche dans un canal collecteur, l'uretère.
Le dispositif de filtration du sang est constitué par un bouquet de capillaires sanguins, le glomérule, associé à la paroi de la cavité cœlomique. Le liquide cœlomique chargé de déchets issus de la filtration entre dans le tubule contourné du néphron à la faveur du néphrostome. Il devient l'urine primitive, qui subit au cours de son transit dans le tubule urinaire des réabsorptions et sécrétions modifiant sa composition.
De tels néphrons sont ouverts, à glomérule intracœlomique. Présents dans la première génération de reins observée au cours du développement des Vertébrés, le pronéphros, ils ne sont fonctionnels que chez les larves de Vertébrés non amniotes (fiche 25).

Figures 3., 4. et 5. Le mésonéphros de la *Grenouille* adulte : des néphrons ouverts à glomérule intranéphronique (*vue ventrale et coupes transversales, microscope photonique*) La *Grenouille* adulte possède un appareil excréteur représenté par deux reins dorsaux allongés (fiche 24). Ils sont drainés par des uretères insérés sur leur bord externe, qui convergent vers une cavité, le cloaque, sur laquelle est également ouverte la vessie membraneuse. Chez le mâle, les uretères acheminent vers le cloaque urine et spermatozoïdes et sont appelés urospermiductes.
Chez les Lissamphibiens adultes, les néphrons sont formés d'une capsule de Bowman constituée d'un feuillet pariétal et d'un feuillet viscéral ménageant entre eux un espace de Bowman associé à un bouquet de capillaires sanguins, le glomérule. L'ensemble compose le corpuscule de Malpighi réalisant la filtration du sang à l'origine de l'urine primitive. Un tubule contourné lui fait suite, débouchant dans l'uretère, canal collecteur. Un néphrostome ouvert sur la cavité cœlomique est souvent présent, relié à la région proximale du tubule urinaire par un conduit cilié, le collet. Le tubule contourné présente un épithélium simple, cubique, muni d'une bordure en brosse dans sa zone proximale alors qu'il en est dépourvu dans sa région distale.
De tels néphrons sont 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 non amniotes et les embryons de Vertébrés amniotes.
L'organisation du néphron de la *Souris* adulte est semblable à celle du néphron du mésonéphros exception faite des néphrostome et collet cilié (fiche 47). Une anse de Henlé, tube en forme de U, est de plus intercalée entre les portions proximale et distale du tubule contourné. Ce type de néphrons est dit fermé, à glomérule intranéphronique. Il est typique de la troisième génération de reins, le métanéphros, fonctionnel chez les adultes des Vertébrés amniotes.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 5

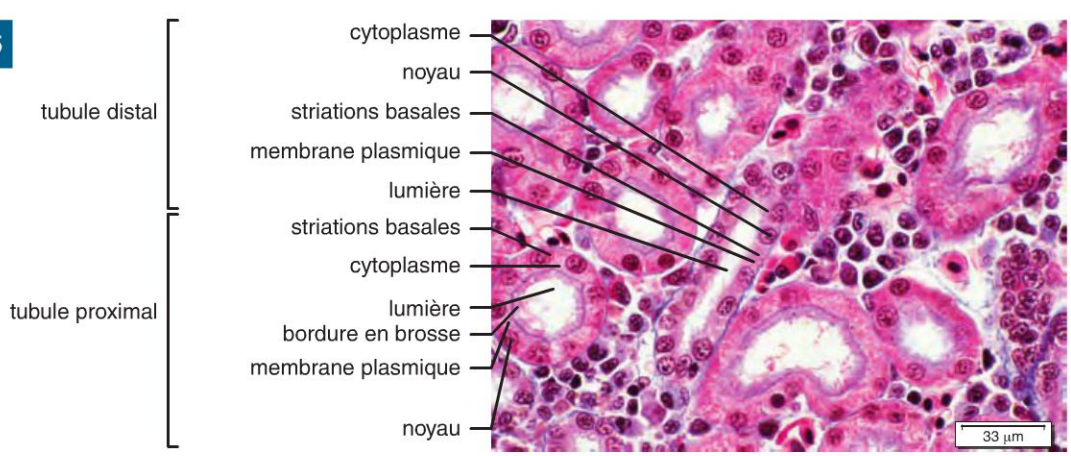


FIGURE 1

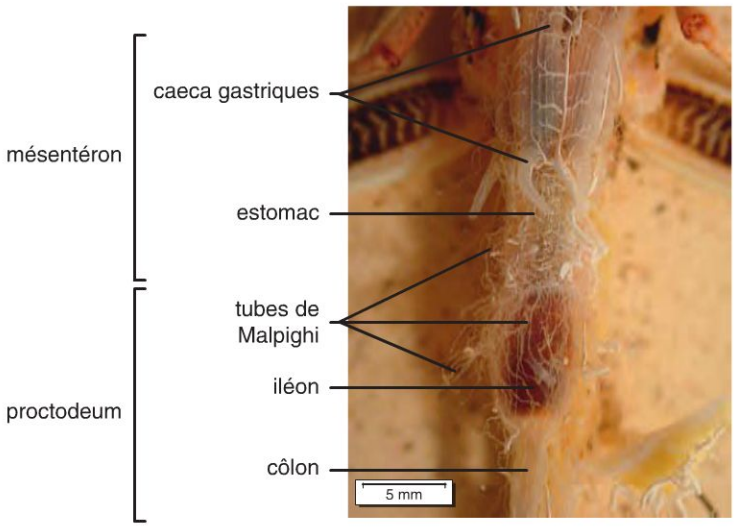


FIGURE 2

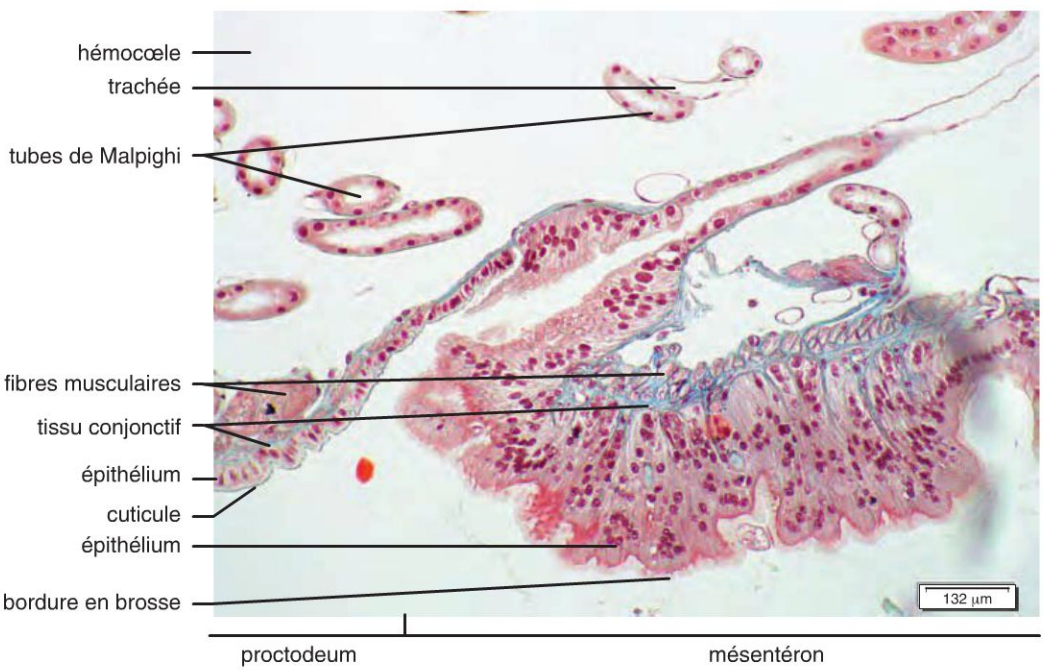
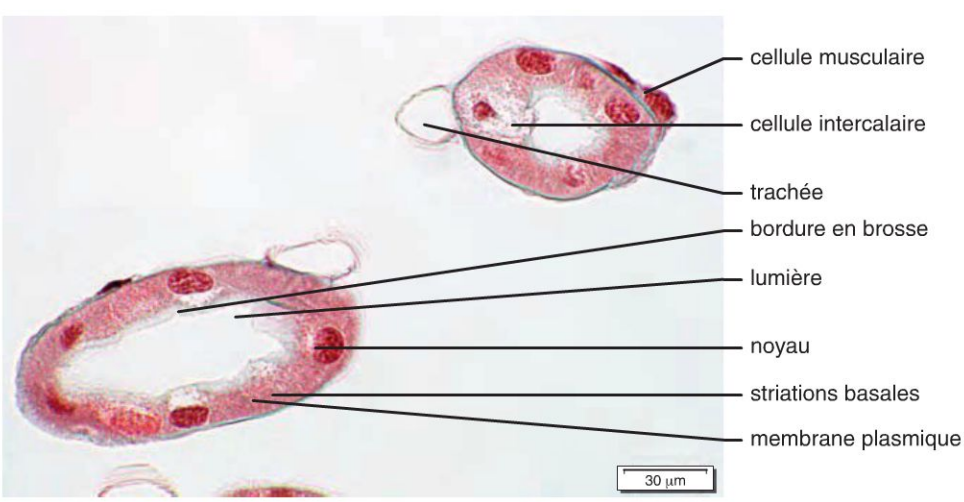


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La production et l'évacuation de l'urine par les tubes de Malpighi et le proctodeum des Insectes

fiche 49

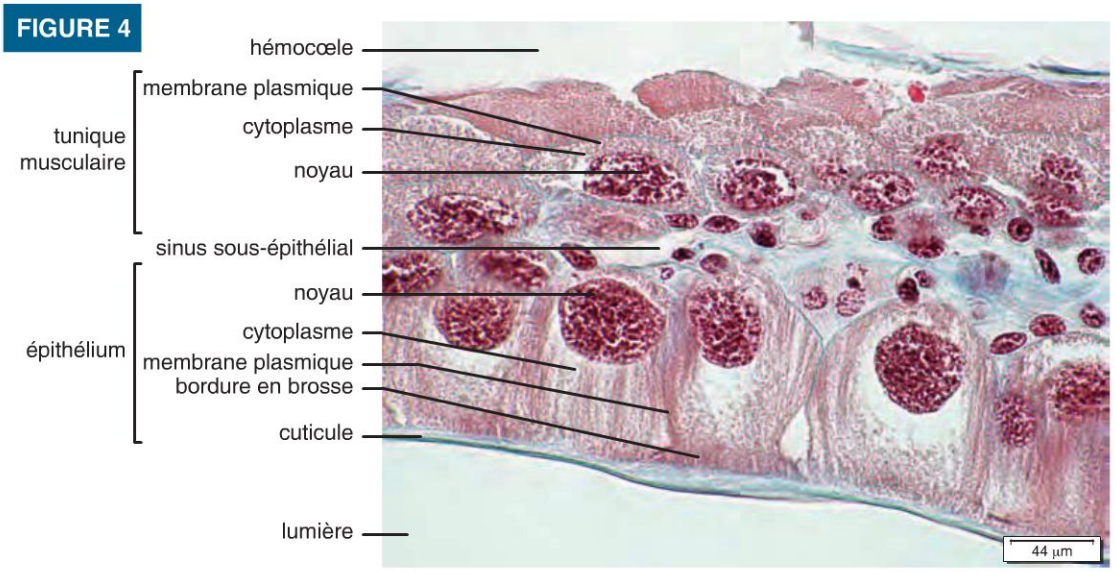
L'appareil excréteur des Insectes est original du point de vue de son organisation comme de son fonctionnement. Il est représenté par des tubes de Malpighi.

Figures 1. et 2. Les tubes de Malpighi du *Criquet* : des organes excréteurs en cul-de-sac ouverts sur le tube digestif (*vue dorsale et coupe longitudinale du tube digestif, microscope photonique*) L'appareil excréteur du *Criquet*, exemple d'Insecte, est constitué d'environ trois cents tubes en cul-de-sac, les tubes de Malpighi. Ils possèdent une extrémité libre et fermée baignant dans l'hémolymphe et sont abouchés au tube digestif à la jonction entre mésentéron et proctodeum (fiche 15).

Figure 3. Les tubes de Malpighi du *Criquet* : une filtration de l'hémolymphe à travers la paroi (*coupe transversale, microscope photonique*) Les tubes de Malpighi sont tapissés d'une assise de cellules épithéliales cubiques homogènes munies d'une bordure en brosse apicale au contact de la lumière, présentant un noyau proéminent et des striations basales. Des cellules intercalaires, plus claires, sont parfois observées. Ils sont entourés d'une tunique musculaire discontinue qui permet leur mouvement dans l'hémocœle et favorise le déplacement du contenu de leur lumière.
Les cellules de l'épithélium réalisent un transport actif de divers ions (potassium, calcium, magnésium, phosphate) de l'hémolymphe vers la lumière du tube. En conséquence, un gradient osmotique transpariétal est mis en place. L'eau de l'hémolymphe traverse l'épithélium du fait de ce gradient, entraînant avec elle diverses substances dissoutes, notamment des acides aminés, des glucides et des déchets azotés. La formation de l'urine définitive implique une réabsorption sélective d'eau et de solutés, en particulier d'acides aminés, de glucides et de divers ions, réalisée 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.

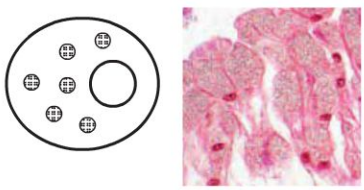
Figure 4. Le proctodeum du *Criquet* : une concentration de l'urine (*coupe longitudinale, microscope photonique*) L'urine produite par les tubes de Malpighi gagne la lumière du proctodeum par lequel elle est évacuée.
La paroi proctodéale est constituée d'un épithélium haut, possédant une bordure en brosse, recouvert de cuticule. Des fibres musculaires lui sont associées, l'isolant partiellement de l'hémolymphe par la délimitation d'un sinus sous-épithélial, et permettant par ailleurs l'expulsion des fèces.
Les cellules épithéliales ménagent entre elles des lacunes communiquant avec le sinus interne. Elles réalisent un transport actif d'ions (potassium essentiellement) vers les lacunes intercellulaires. L'augmentation de la pression osmotique qui en résulte 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'hémolymphe. Le proctodeum est ainsi le siège principal de la réabsorption d'eau chez les Insectes.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Accumulation



Élimination

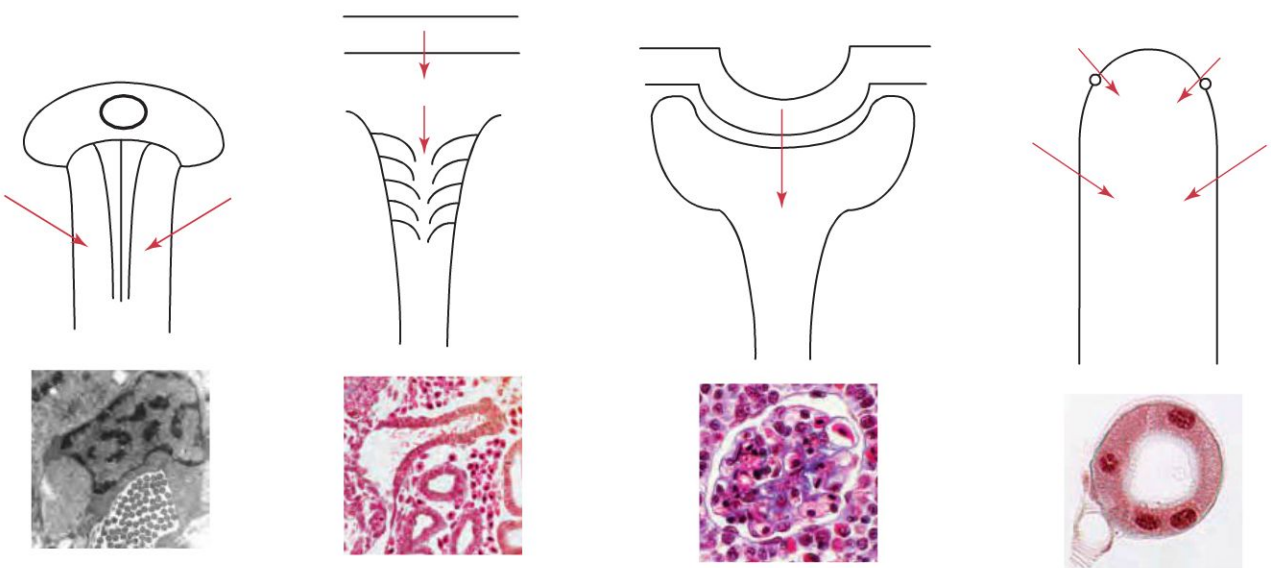
Ultrafiltration

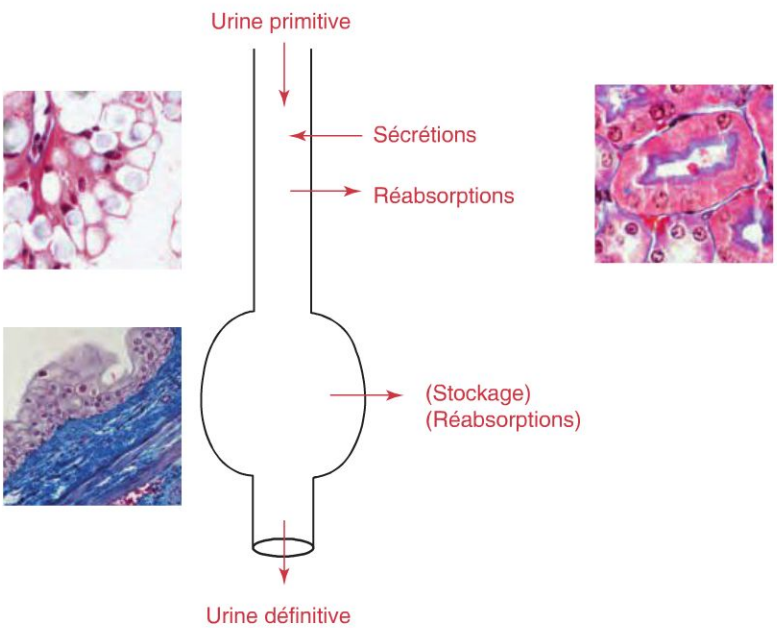
Dépression

Pression de filtration

Flux d'eau passif et diffusion

Transport actif





Copyright © 2015 Dunod.

Unité et diversité de l'excrétion et des appareils excréteurs des animaux

fiche 50

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 consommant du dioxygène et produisant du dioxyde de carbone ainsi que des déchets, évacués hors de l'organisme.
L'élimination des déchets du métabolisme et des substances présentes en excès dans l'organisme constitue l'excrétion.

Chez les Métazoaires, l'excrétion est réalisée par des appareils spécialisés présentant une grande diversité structurale. Les Plathelminthes possèdent des protonéphridies (fiche 46) de même que les Céphalochordés, les Annélides sont munis de métanéphridies (fiche 46) dont semblent dériver les glandes vertes des Arthropodes aquatiques, les Vertébrés présentent des reins (fiches 47, 48) et les Insectes des tubes de Malpighi (fiche 49). Cette diversité peut être mise en relation avec la position systématique et la complexité des animaux concernés.
À l'inverse, une relative unité fonctionnelle peut être dégagée à propos des organes 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 une ultrafiltration, due à une dépression ou une pression de filtration, ou par une filtration résultant d'un transport actif d'ions, à travers des surfaces peu épaisses. Les réabsorptions et sécrétions sont quant à elles le fait de tissus épithéliaux simples, cubiques, dont les cellules sont fréquemment munies d'une bordure en brosse.
D'autres structures peuvent contribuer à l'élimination des déchets produits par le métabolisme. Il s'agit d'organes comme le tégument ou les branchies mais aussi de structures spécialisées telles les reins d'accumulation (fiches 46, 49). Certains animaux comme les Cnidaires ne possèdent pas d'appareil excréteur différencié, leurs cellules éliminant directement les déchets dans le milieu extérieur.

L'urine éliminée contenant de l'eau et des ions, les appareils excréteurs sont des acteurs essentiels du maintien de l'équilibre hydrominéral des Métazoaires. Ils interviennent conjointement avec d'autres organes spécialisés comme la glande rectale chez les Sélaciens, et diverses surfaces d'échange telles le tégument et les 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, dont la solubilité dans l'eau est importante ; en conséquence, elle doit être éliminée 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. Enfin, 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 liée 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 Arthropodes, Eumollusques, Téléostéens). Avec l'affranchissement par rapport au milieu aquatique, l'essentiel des substances azotées éliminées correspond à de l'urée (uréotélie des Lissamphibiens terrestres et des Mammifères) ou de l'acide urique (uricotélie des Insectes, Oiseaux).
La fonction excrétrice, de par le fonctionnement des appareils excréteurs et la nature des déchets éliminés, est ainsi impliquée dans l'équilibre hydrominéral.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

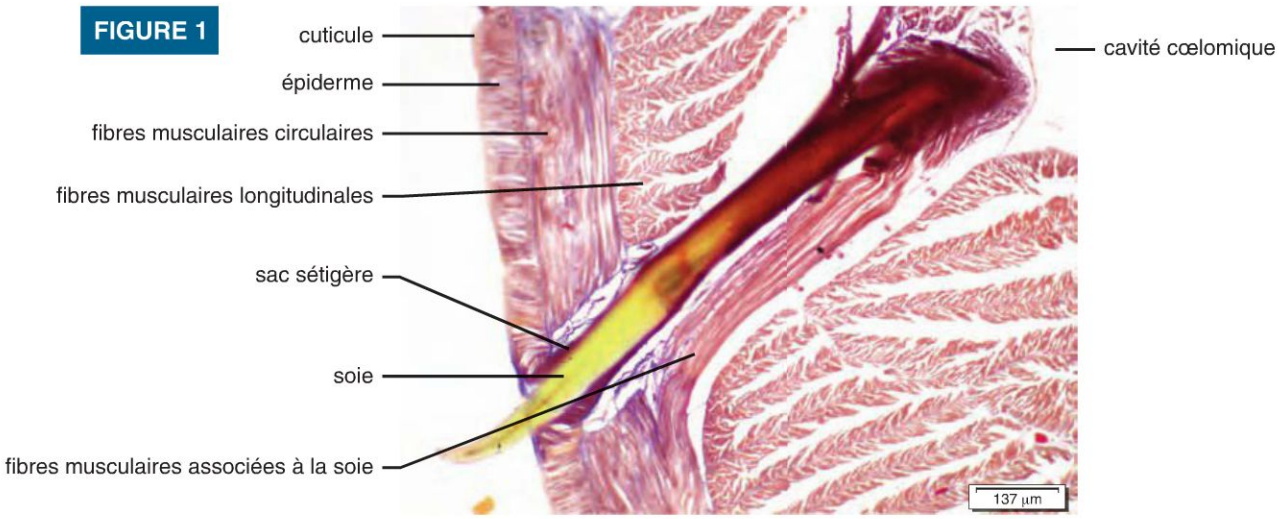


FIGURE 2

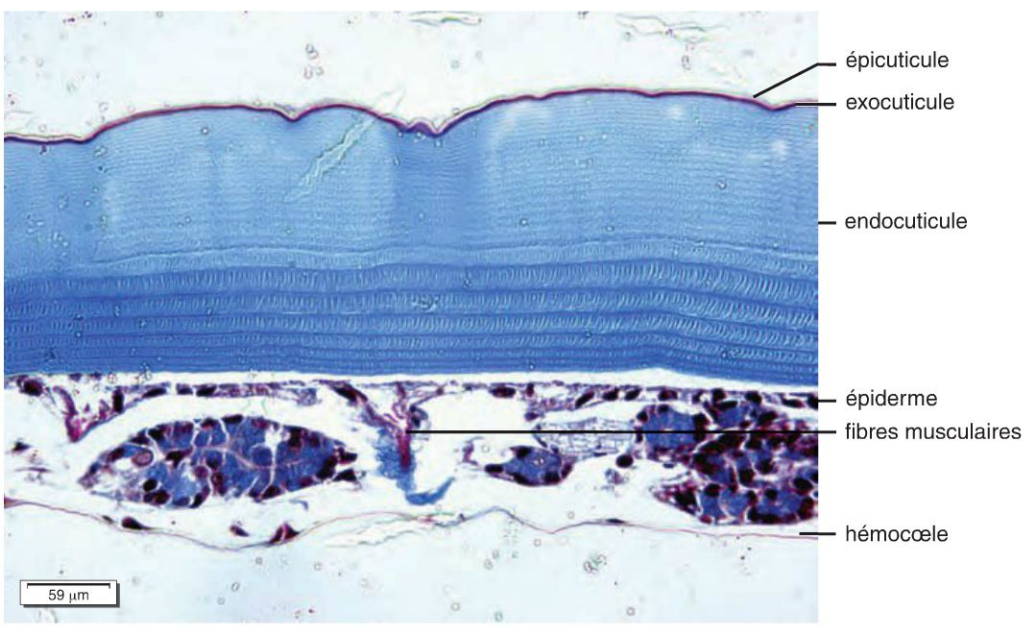


FIGURE 3

Copyright © 2015 Dunod.

La protection et la diversité des systèmes tégumentaires chez les Protostomiens

fiche 51

Les animaux échangent de la matière et de l'énergie avec leur milieu de vie dans le cadre des fonctions de nutrition (alimentation, échanges gazeux respiratoires, excrétion). Ils sont cependant isolés de leur environnement par une enveloppe externe appelée le tégument.

Figure 1. Le tégument du *Lombric* : une barrière formée d'un épiderme simple produisant une fine cuticule et des soies (*coupe transversale de la région ventrale, microscope photonique*) Chez le *Lombric*, et plus généralement chez les Annélides (fiches 7, 8, 9), le corps est délimité par un épiderme représenté par un épithélium simple et prismatique. Les cellules de revêtement qui le composent produisent une fine cuticule. Les nombreuses cellules muqueuses présentes élaborent des sécrétions déposées à la surface du tégument, contribuant à le maintenir humide et à protéger ainsi l'animal de la dessiccation.
Des replis de l'épiderme forment des poches ou sacs sétigères à l'origine des soies locomotrices, au nombre de quatre paires par métamère, permettant l'ancrage dans le sol lors du déplacement (fiche 58).

Figure 2. Le tégument de l'*Écrevisse* : un revêtement protecteur composé d'un épiderme simple produisant une épaisse cuticule (*coupe transversale, microscope photonique*) Le tégument de l'*Écrevisse*, à l'instar de celui des autres Arthropodes, est formé d'un épiderme surmonté d'une épaisse cuticule (fiches 13 à 17). L'épiderme est un épithélium simple et cubique, reposant sur une membrane basale. Les cellules qui le composent élaborent la cuticule constituée de plusieurs couches : une endocuticule interne, une exocuticule médiane et une épicuticule externe. L'endocuticule et l'exocuticule sont composées de strates successives associant chitine et protéines, et sont traversées de canalicules en relation avec l'épiderme. L'endocuticule est flexible alors que l'exocuticule est rigide, du fait de la présence de sclérotine et le cas échéant d'une incrustation par des sels de calcium comme chez l'*Écrevisse*. L'épicuticule est très fine et 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 et l'endocuticule est riche en résiline, protéine contribuant à son élasticité.
La présence de la cuticule, enveloppe rigide et de volume fixe, est corrélée à la croissance des Arthropodes par mue ou exuviation, processus consistant en l'élimination de l'ancienne cuticule et la production d'une nouvelle cuticule de dimensions plus importantes.
L'épiderme contient par ailleurs des cellules qualifiées de trichogènes, à l'origine des soies (fiche 61).

Figure 3. Le tégument de la *Moule* : une surface corporelle constituée d'un épiderme simple produisant une coquille (*coupe transversale du bord du manteau, microscope photonique*) Chez la *Moule* comme chez les autres Eumollusques, l'enveloppe corporelle est un épiderme représenté par un épithélium simple et cubique (fiches 10, 11). Composé de cellules ciliées et de cellules muqueuses, il constitue notamment le manteau entourant la masse viscérale et délimitant la cavité palléale.
Le manteau est responsable de la production de la coquille. Il en assure l'accroissement par addition de matériel élaboré par les cellules situées sur son bord externe, et l'épaississement grâce à l'activité des cellules de toute sa surface.
La face interne de la coquille, ou hypostracum, est composée d'une substance porcelanée ou de nacre. L'ostracum la surmonte, constitué de cristaux de carbonate de calcium dont l'architecture est variable, et d'une matrice organique formée de 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.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

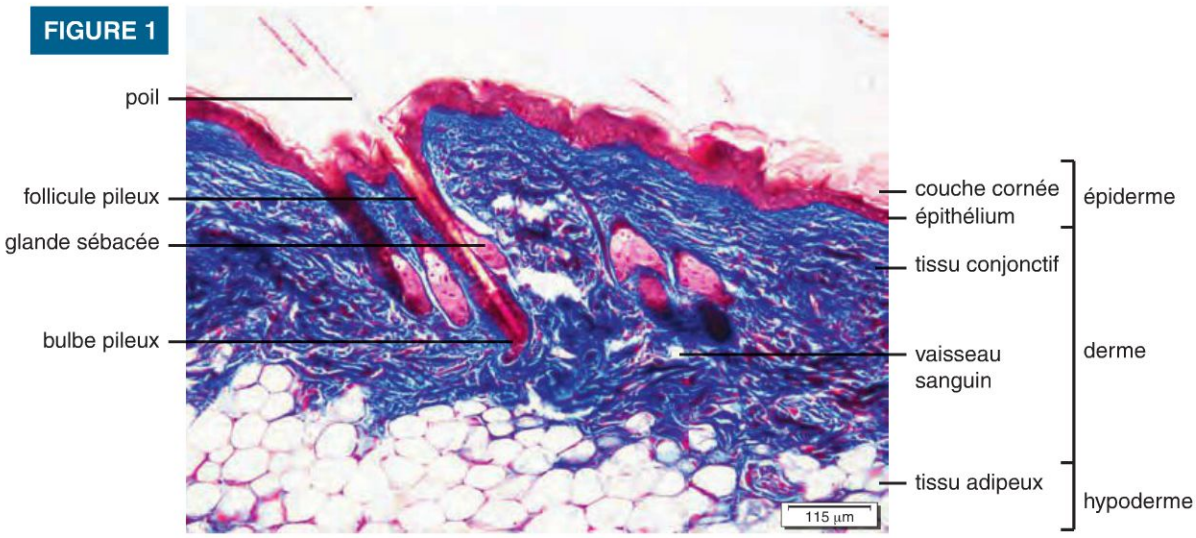


FIGURE 2

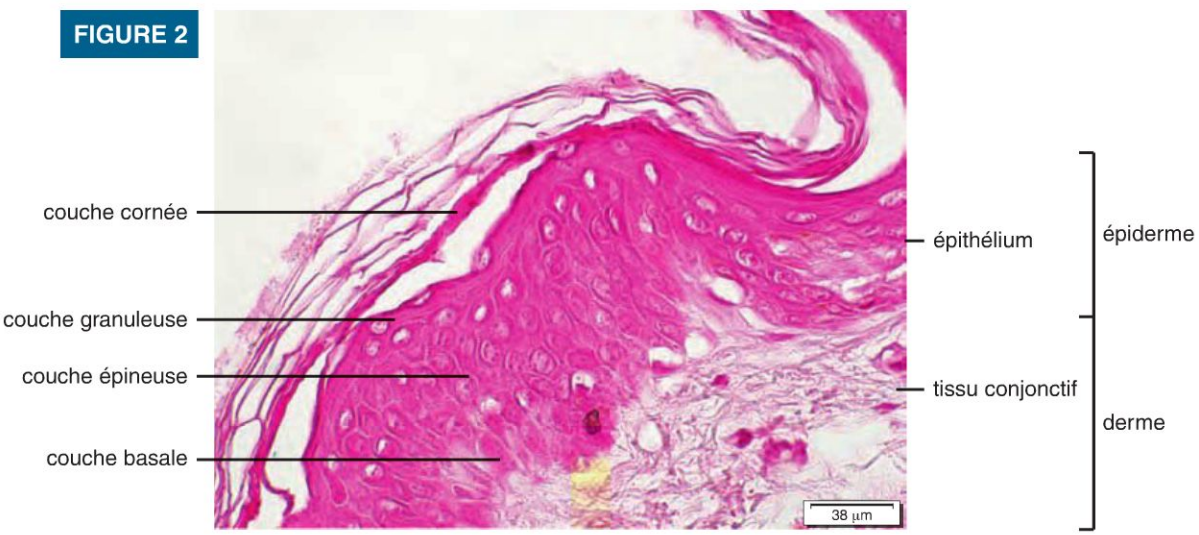
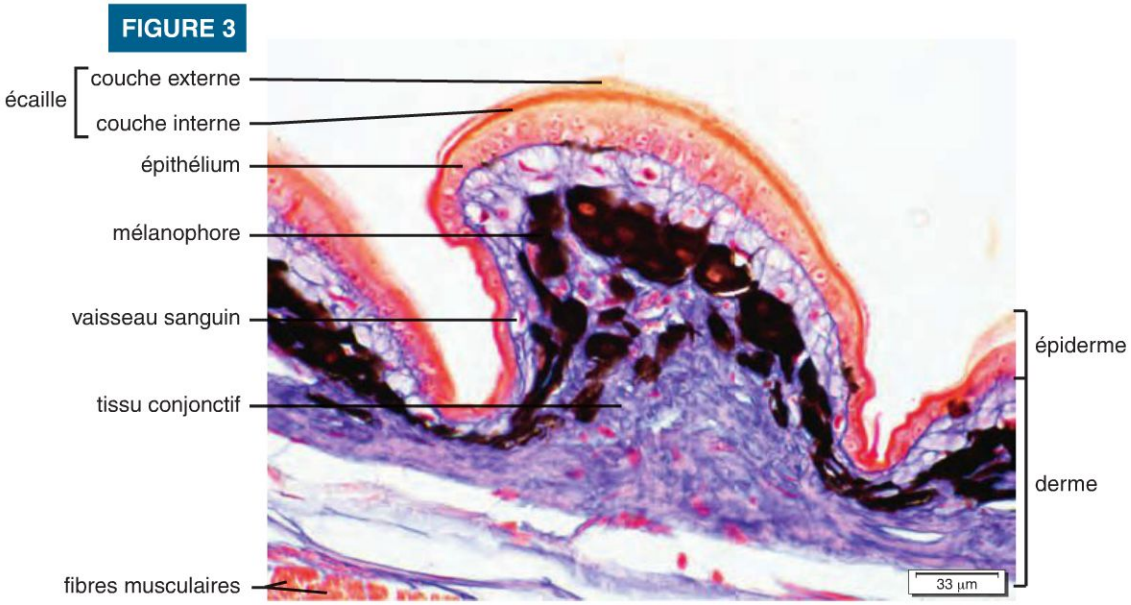


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La protection par le tégument et les phanères chez les Vertébrés aériens

fiche 52

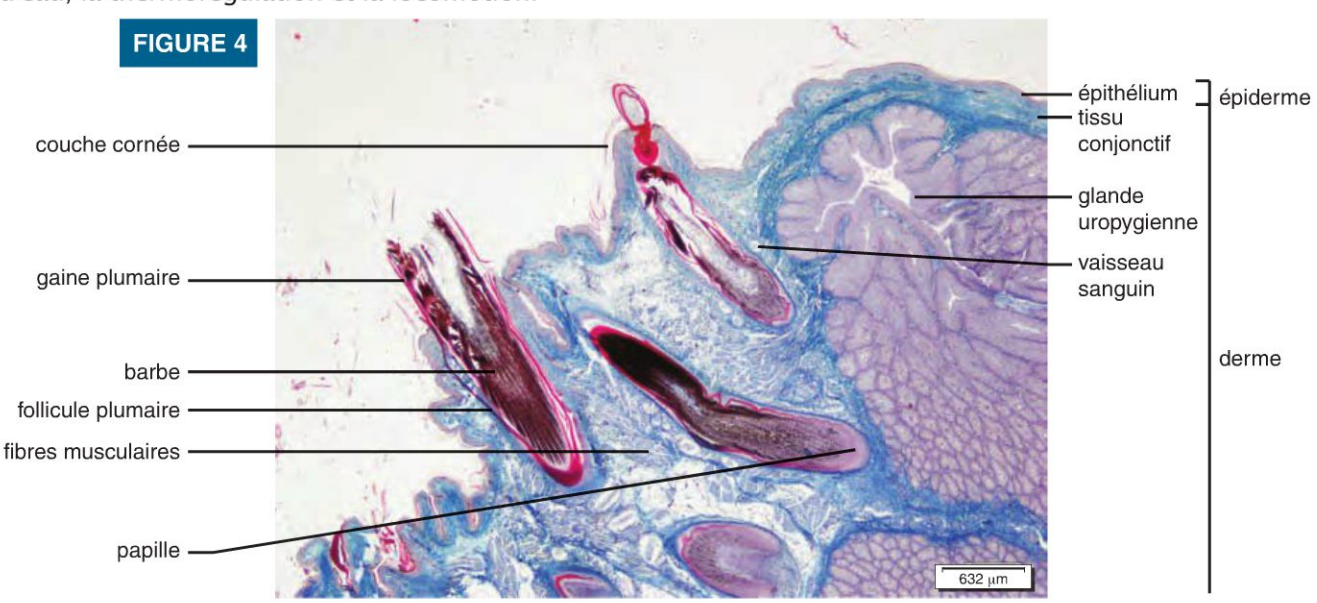
Le corps des Vertébrés est isolé du milieu de vie par un tégument appelé peau composé d'un épiderme, épithélium pluristratifié pavimenteux, surmontant un derme de nature conjonctive. Si l'organisation générale du tégument est relativement homogène au sein du groupe, des différences existent, qui peuvent être mises en perspective du milieu de vie et du sous-groupe considéré.

Figures 1. et 2. Le tégument des Mammifères : un épiderme formant des poils et des glandes, impliqués dans la protection physique et chimique (*coupes transversales de tégument de* Souris *et d'épiderme humain, microscope photonique*) Chez les Mammifères comme la *Souris* et l'*Homme*, le tégument (fiches 26, 27) est caractérisé par une importante couche cornée superficielle constituée de kératine et par la présence de productions épidermiques appelées phanères, en l'occurrence des poils. Associés à des papilles dermiques, ils sont formés par un follicule pileux, au niveau duquel sont distinguées une gaine épithéliale externe et une gaine épithéliale interne kératinisée entourant la hampe du poil. Le follicule est relié à l'épiderme par un muscle arrecteur dont la contraction provoque le hérissement du poil. De nombreuses glandes épidermiques sont enfoncées dans le derme. Il s'agit des glandes sébacées, acineuses simples ou composées, libérant leurs sécrétions de nature lipidique 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.

Figure 3. Le tégument du *Lézard* : un épiderme formant des écailles, assurant une protection physique et chimique (*coupe transversale, microscope photonique*) Le tégument du *Lézard* est caractérisé par la présence d'écailles. L'épiderme est surmonté d'une épaisse couche cornée composée de kératine et organisée en plusieurs strates : la partie profonde, présente sur toute la surface du corps, est relativement souple alors que la zone superficielle, observée uniquement au niveau des écailles, a une consistance plus dure. Les écailles sont des phanères, productions épidermiques. La kératine confère au tégument une relative imperméabilité. Le derme comporte des cellules pigmentées, notamment des mélanophores, impliquées dans la couleur de l'animal. Les glandes épidermiques sont peu abondantes et localisées dans des régions bien définies, à proximité de la bouche, de l'anus et au niveau des cuisses, la peau est de ce fait sèche.

Figure 4. Le tégument du *Poussin* : un épiderme formant des plumes permettant une protection physique et chimique (*coupe transversale, microscope photonique*) Le tégument du *Poussin*, à l'instar de celui des autres Oiseaux, est formé d'un épiderme surmonté d'une couche cornée et produisant des phanères caractéristiques, les plumes. Elles sont 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. En relation avec sa structure et sa composition, le tégument contribue notamment à la limitation des pertes d'eau, la thermorégulation et la locomotion.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

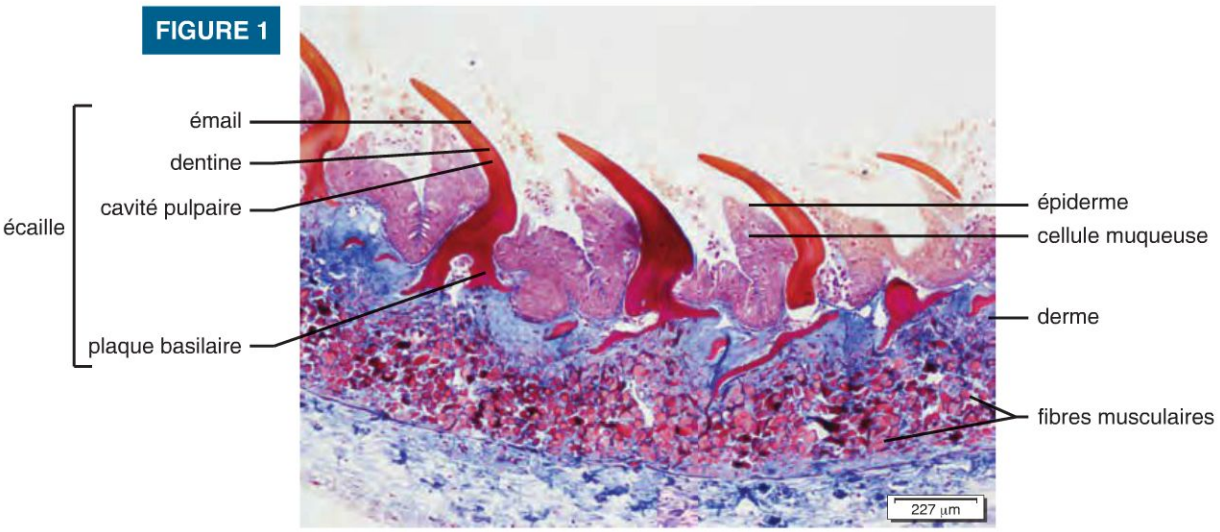


FIGURE 2

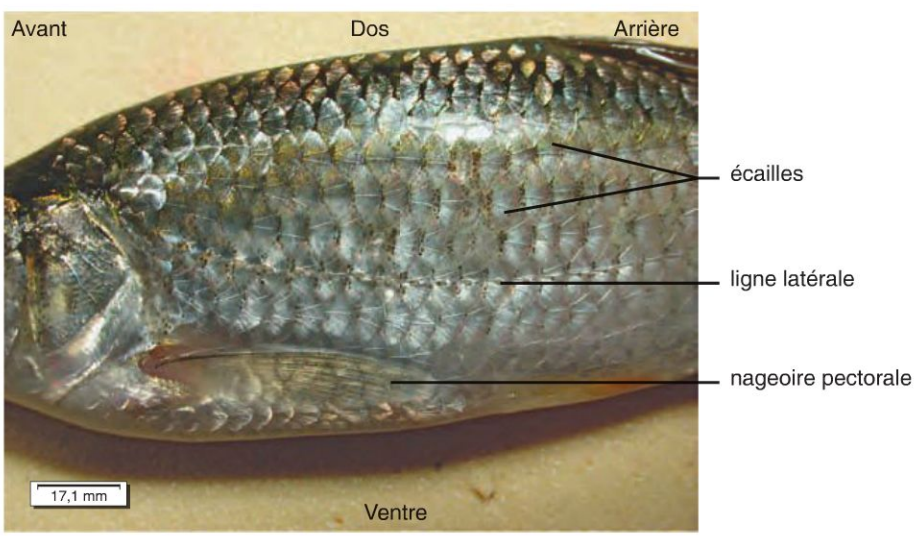
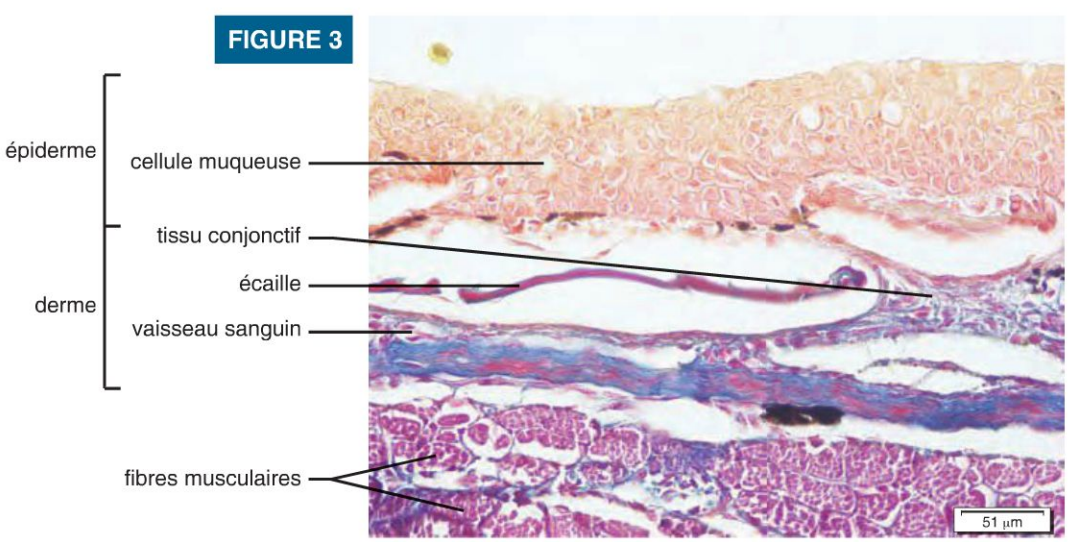


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La protection par le tégument chez les Vertébrés aquatiques et amphibies

fiche 53

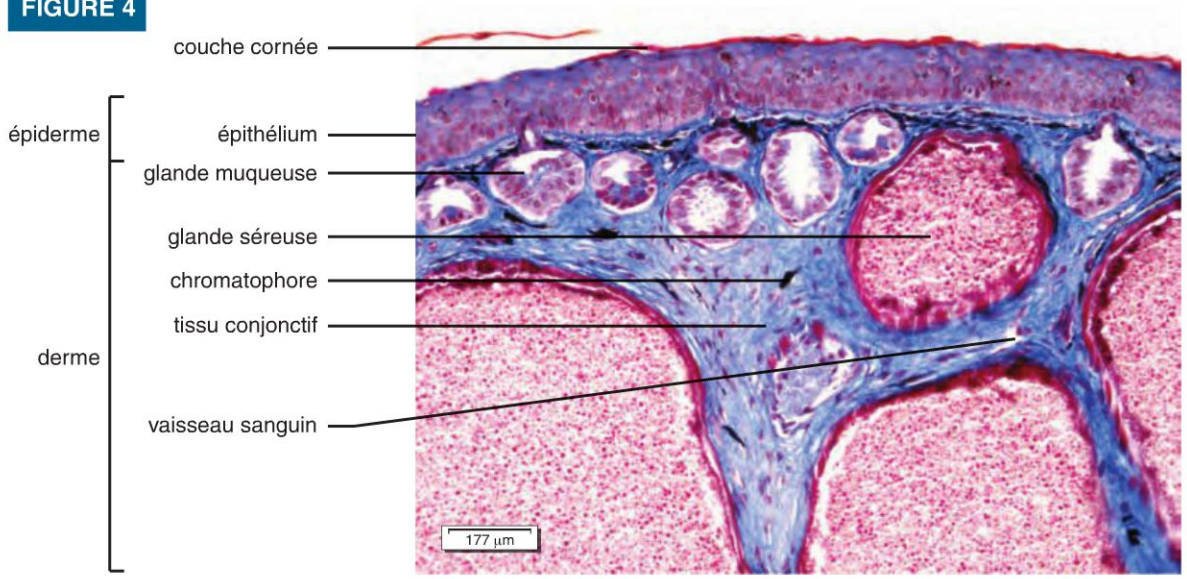
De même que les Vertébrés évoluant en milieu terrestre, les Vertébrés vivant en milieu aquatique ou à l'interface entre les milieux aquatique et terrestre possèdent un tégument composé d'un épithélium pluristratifié pavimenteux, l'épiderme, surmontant un tissu conjonctif fibreux, le derme.

Figure 1. Le tégument de la *Roussette* : un épiderme à cellules sécrétrices dispersées et des écailles dermiques protectrices proches des dents (*coupe transversale, microscope photonique*) Le corps de la *Roussette*, Sélacien marin, est recouvert d'une peau formée par un épiderme surmontant un derme. L'épiderme comporte des cellules glandulaires isolées, le plus souvent muqueuses. Le derme, est à l'origine de structures tégumentaires appelées écailles.
Les écailles des Sélaciens sont formées à partir d'une papille et composées d'un cône de dentine autour duquel est déposé de l'émail. Elles sont ancrées dans le derme par une plaque basilaire. De par leur consistance voisine de celle des dents, leur orientation vers l'arrière et leur répartition juxtaposée, elles rendent le tégument rugueux. Du fait de leur nature, ces écailles sont qualifiées de placoïdes.

Figures 2. et 3. Le tégument des Téléostéens : un épiderme à cellules sécrétrices dispersées et des écailles dermiques osseuses protectrices *(vue externe de peau de* Gardon *et coupe transversale de peau de* Truite*, microscope photonique*) Chez les Téléostéens comme le *Gardon* et la *Truite*, le tégument est représenté par un épiderme dans lequel des cellules glandulaires muqueuses sont dispersées, et un derme sous-jacent à l'origine d'écailles (fiches 22, 23).
À la différence de celles des Sélaciens, les écailles des Téléostéens correspondent à des lamelles transparentes se chevauchant partiellement. Elles sont formées d'une plaque fibreuse couverte d'une couche superficielle d'os. Qualifiées d'élasmoïdes du fait de leur nature, elles recouvrent tout le corps, constituant un revêtement protecteur relativement imperméable.

Figure 4. Le tégument de la *Grenouille* : un épiderme à fine couche cornée et formant des glandes *(coupe transversale, microscope photonique*) La *Grenouille* adulte possède un tégument constitué d'un épiderme recouvert d'une fine couche cornée composée de kératine (fiches 24, 25). Il repose sur un derme richement vascularisé, dans lequel sont dispersées de cellules pigmentées responsables de la coloration de l'animal, les chromatophores. Les cellules sécrétrices sont associées en glandes épidermiques pluricellulaires simples et acineuses, enfoncées dans le derme. Certaines sont muqueuses, les produits qu'elles libèrent contribuent à maintenir la peau humide, évitant ainsi la dessiccation. D'autres sont séreuses et élaborent des substances toxiques assurant une protection vis-à-vis des prédateurs potentiels, elles sont appelées glandes à venin.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

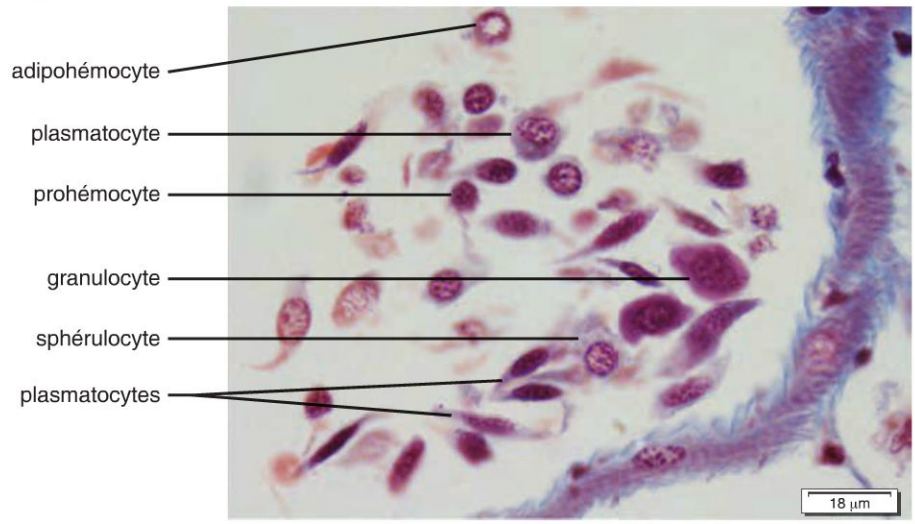
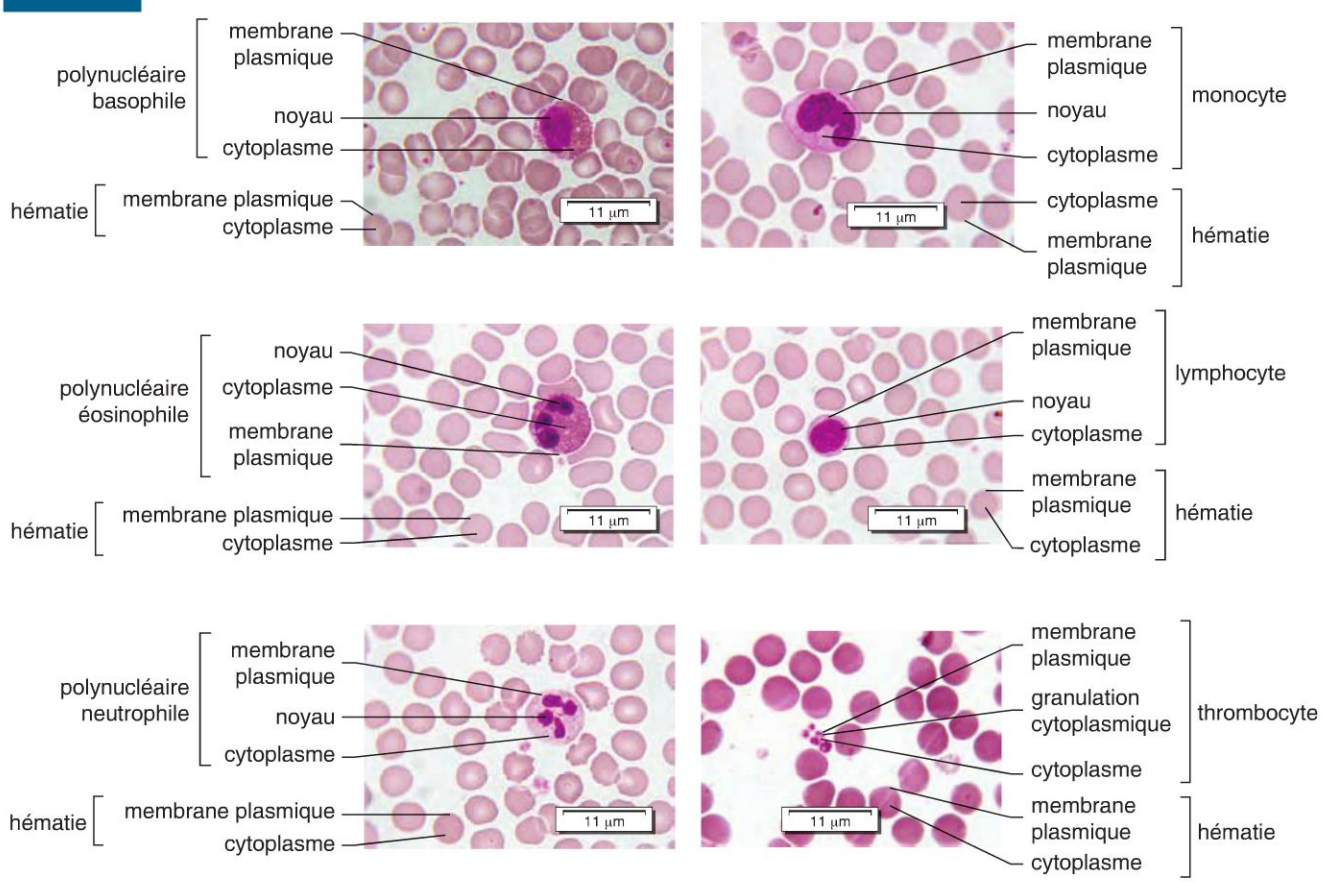


FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

La protection par les cellules des liquides corporels et la réaction immunitaire

fiche 54

Le tégument constitue une barrière empêchant la pénétration des agents biologiques externes, potentiellement pathogènes, à l'intérieur de l'organisme animal (fiches 51 à 53). Les muqueuses bordant les lumières des cavités corporelles en continuité avec le milieu extérieur jouent également un rôle protecteur grâce aux produits qu'elles sécrètent comme le mucus ou le lysozyme.
Des moyens internes de protection existent par ailleurs, relevant du système immunitaire, formé des cellules et des organes assurant la défense de l'organisme vis-à-vis d'agents pathogènes.

Figure 1. Les hémocytes du *Criquet* : des cellules réalisant la phagocytose ou la coagulation *(coupe transversale de thorax, microscope photonique*) L'hémolymphe du *Criquet* contient divers types cellulaires, issus de la différenciation de petites cellules circulantes appelées prohémocytes (fiches 15, 16). Parmi eux, les plasmatocytes et les granulocytes ont la capacité 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 non spécifique, ou naturelle, dans la mesure où elles réagissent de la même manière à tout corps étranger.
Des coagulocytes sont également parfois observés, impliqués dans le processus de coagulation, ainsi que des hémocytes à rôle métabolique (adipohémocytes et sphérulocytes).
De la même manière, les liquides cœlomique et sanguin des Annélides et l'hémolymphe des Eumollusques contiennent des cellules immunitaires.

Figure 2. Les cellules sanguines de l'*Homme* : des cellules réalisant la phagocytose, la réponse immunitaire spécifique ou la coagulation (*frottis sanguin, microscope photonique*) Chez les Vertébrés, le sang contient trois principales catégories de cellules : les érythrocytes réalisant le transport du dioxygène dans l'organisme, les leucocytes impliqués dans l'immunité et les thrombocytes responsables de la coagulation. Chez les Mammifères, les érythrocytes sont dépourvus de noyau et prennent le nom d'hématies.
Les leucocytes sont représentés par des cellules phagocytaires comme les polynucléaires caractérisés par un noyau plurilobé, également désignés par le terme granulocytes du fait de la présence de nombreux granules dans leur cytoplasme, et les monocytes possédant un noyau réniforme. Des cellules phagocytaires sont aussi présentes dans les organes, il s'agit de macrophages qui proviennent de monocytes circulants ayant migré vers les tissus (macrophages alvéolaires dans le poumon – fiche 43, cellules de Küppfer du foie, mésangium du rein par exemple). Ces cellules participent à l'immunité non spécifique, également qualifiée de naturelle.
Les lymphocytes sont des leucocytes effecteurs de l'immunité spécifique ou acquise. À la différence de l'immunité non spécifique, l'immunité spécifique consiste en une réponse dirigée contre une molécule étrangère précise appelée antigène et implique le développement d'une mémoire immunitaire.
Les thrombocytes ou plaquettes sont pour leur part des acteurs de la coagulation sanguine.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

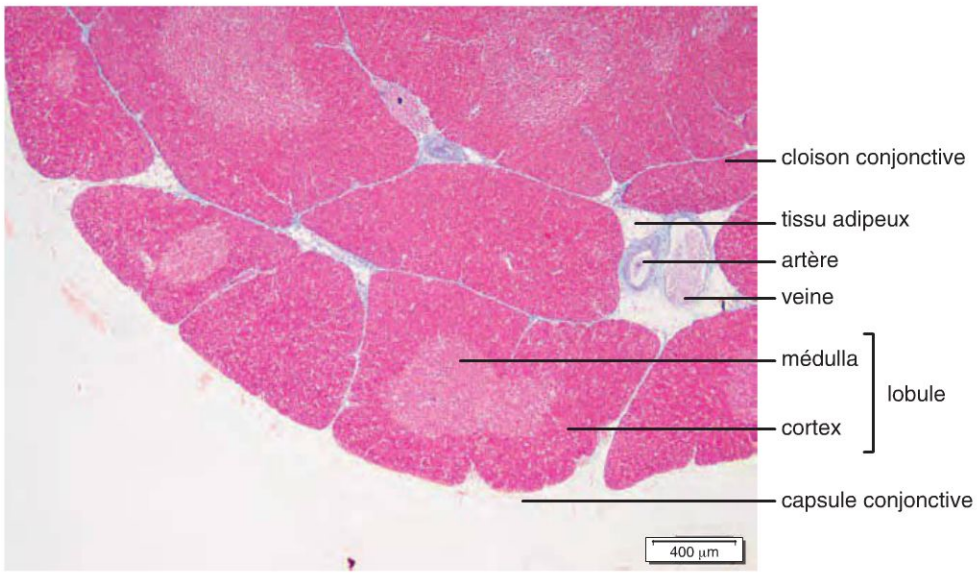


FIGURE 2

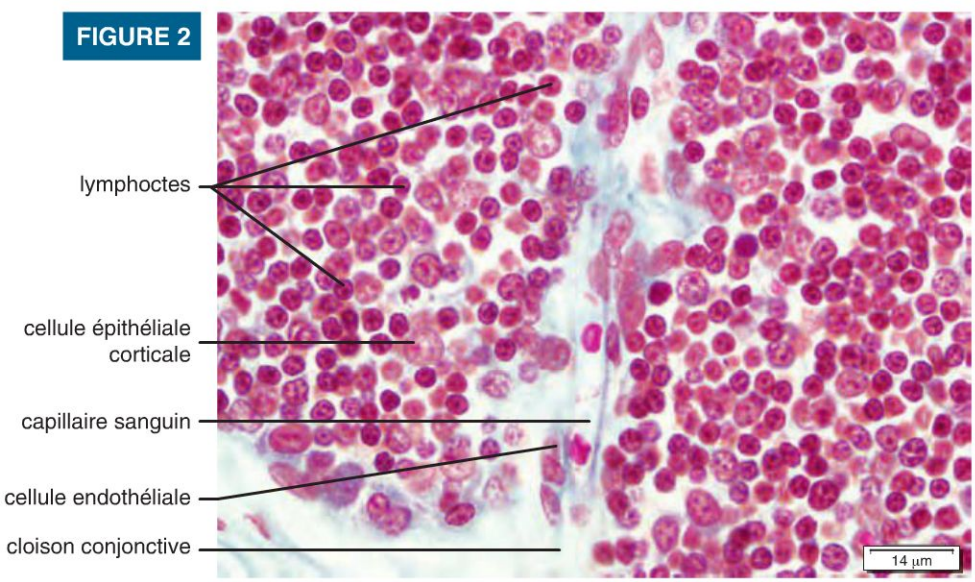
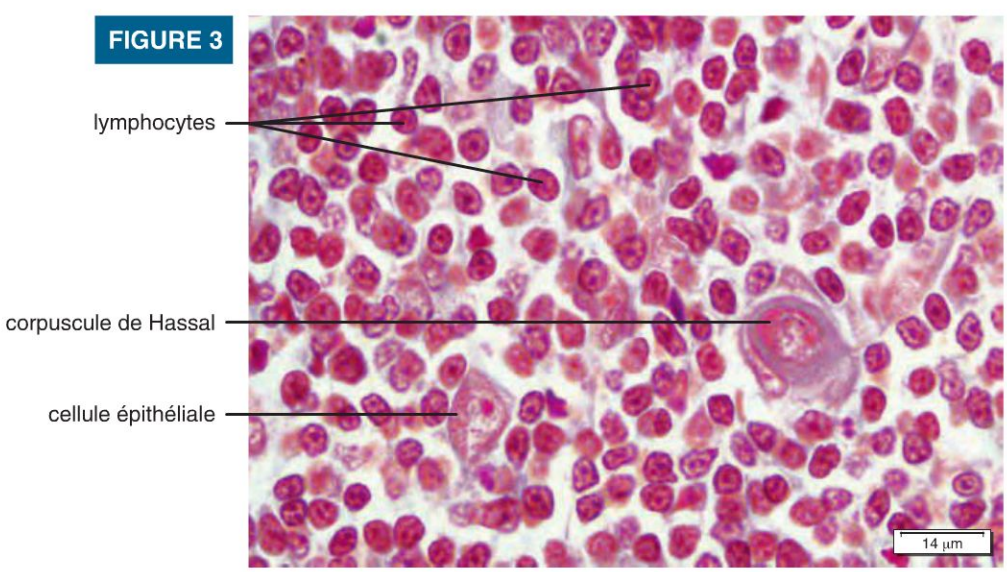


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La protection et les organes lymphoïdes des Vertébrés, à l'origine des cellules immunitaires

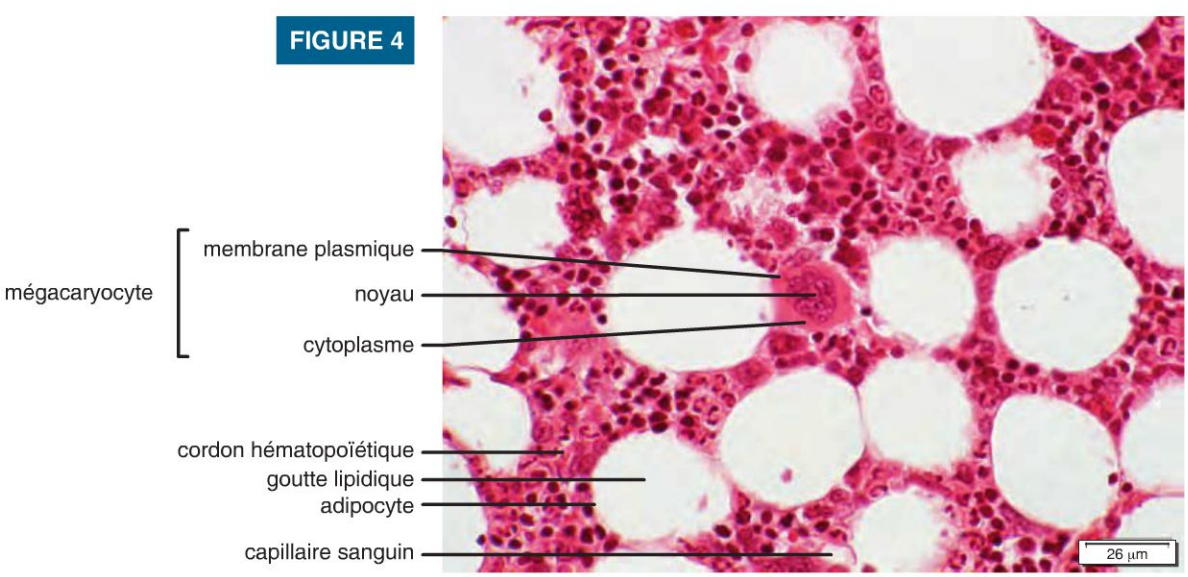
fiche 55

Les cellules immunitaires des Vertébrés sont issues de cellules souches présentes dans les organes à l'origine des cellules sanguines, dits hématopoïétiques.
Chez les Vertébrés non amniotes et au cours du développement, l'hématopoïèse est réalisée dans divers organes comme le rein, le foie et les branchies. En revanche chez les Mammifères adultes, les cellules sanguines ont pour origine la moelle osseuse.
Les effecteurs de l'immunité spécifique sont des cellules circulantes, les lymphocytes. Les cellules à leur origine prolifèrent et évoluent en cellules matures au sein d'organes lymphoïdes qualifiés de primaires. Selon le site de développement, deux populations de lymphocytes de propriétés différentes sont distinguées : les lymphocytes B issus de la moelle osseuse et les lymphocytes T issus du thymus.

Figures 1., 2. et 3. Le thymus du *Lapin* : un organe lymphoïde primaire de prolifération et de maturation des lymphocytes (*coupes longitudinales générales, du cortex et de la médulla, microscope photonique*) Le thymus est un organe à fonction lymphopoïétique, localisé dans le thorax des Mammifères comme le *Lapin* (fiche 26). Il est constitué de lobules séparés par des cloisons conjonctives et formés d'une zone périphérique, le cortex, et d'une zone centrale, la médulla.
Les cellules corticales externes sont des lymphoblastes provenant de la moelle osseuse. Ils se divisent abondamment. Leurs descendants 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. Ils acquièrent ainsi les propriétés des lymphocytes matures.

Figure 4. La moelle osseuse du *Veau* : origine des cellules immunitaires et organe lymphoïde primaire de maturation des lymphocytes (*frottis de moelle, microscope photonique*) Chez les Mammifères comme le *Veau*, la moelle osseuse hématopoïétique est présente dans les os plats, les vertèbres, les os du bassin et certains os longs. Elle occupe leurs cavités et est composée d'un réseau de tissu conjonctif fibreux richement irrigué contenant des adipocytes.
Les cellules souches à l'origine des cellules sanguines se divisent activement dans les interstices de ce réseau. Parmi elles, les mégacaryocytes sont les précurseurs des thrombocytes.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

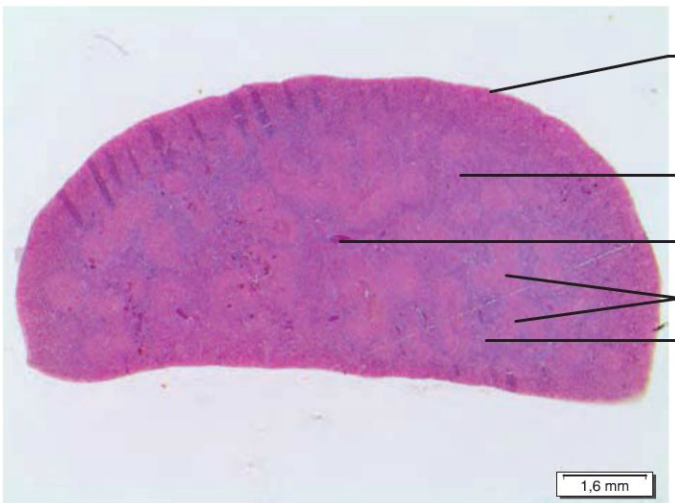


FIGURE 2

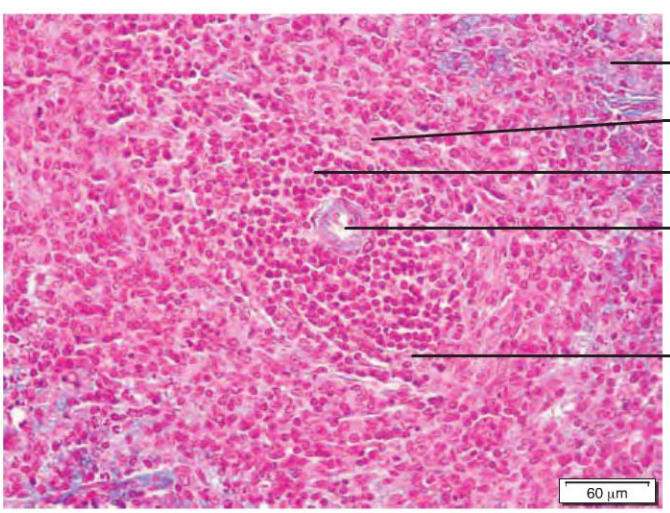
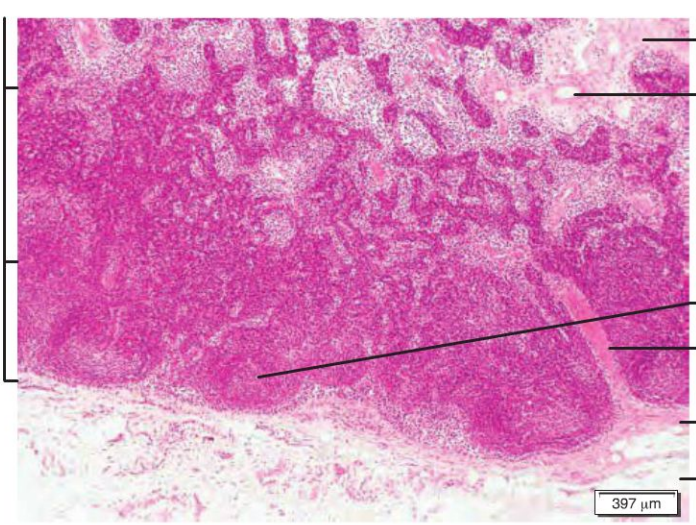


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La protection et les organes lymphoïdes des Vertébrés, à l'origine des cellules immunitaires

fiche 56

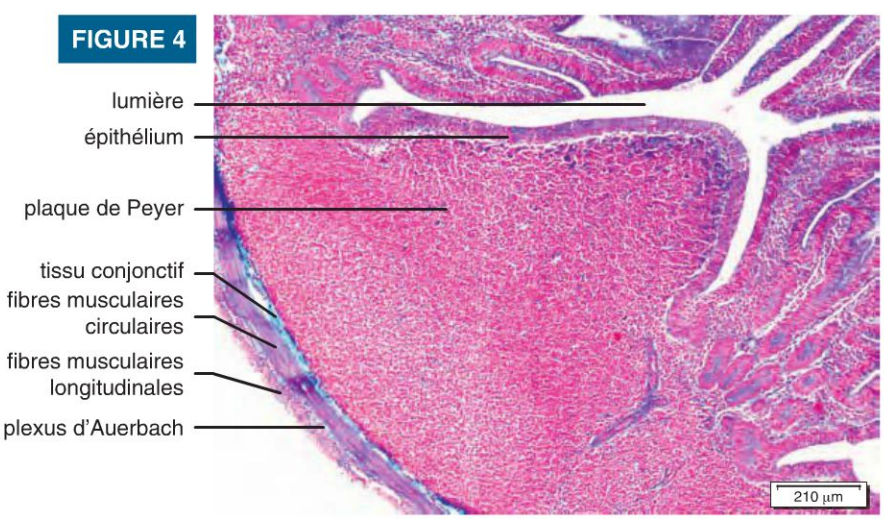
Les lymphocytes sont les cellules circulantes responsables de l'immunité spécifique. Issus de la prolifération de cellules souches, ils acquièrent leur maturité dans les organes lymphoïdes primaires et entrent en contact avec les antigènes au sein d'organes lymphoïdes qualifiés de secondaires. Ils y établissent également des interactions avec des cellules phagocytaires et entre eux. En réponse à une stimulation antigénique, ils prolifèrent avant d'entrer dans la phase finale de leur différenciation puis se transforment en cellules effectrices.

Figures 1. et 2. La rate de la *Souris* : un organe lymphoïde secondaire de multiplication et de transformation des lymphocytes en cellules effectrices (*coupe transversale, microscope photonique*) La rate, située dans l'abdomen des Mammifères comme la *Souris*, est un organe massif enveloppé dans une capsule conjonctive et abondamment irrigué (fiche 26). 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 artérioles, est un tissu lymphoïde. La pulpe blanche forme des gaines autour des artères, au sein desquelles des zones à lymphocytes T sont observées ainsi que des follicules à lymphocytes B comportant souvent une zone de prolifération centrale appelée centre germinatif.

Figure 3. Le ganglion lymphatique humain : un organe lymphoïde secondaire de multiplication et de transformation des lymphocytes en cellules effectrices (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Chez les Mammifères comme l'*Homme*, les ganglions lymphatiques forment des renflements localisés aux jonctions entre vaisseaux lymphatiques. Entourés d'une capsule conjonctive, ils sont irrigués et formés de trois régions concentriques. La région corticale, périphérique, contient des lymphocytes B agencés en follicules présentant généralement des zones de prolifération, les centres germinatifs. La région paracorticale sous-jacente comporte beaucoup de lymphocytes T. La région médullaire, profonde, renferme à la fois des lymphocytes B et T ainsi que des plasmocytes, lymphocytes B stimulés et producteurs d'anticorps.

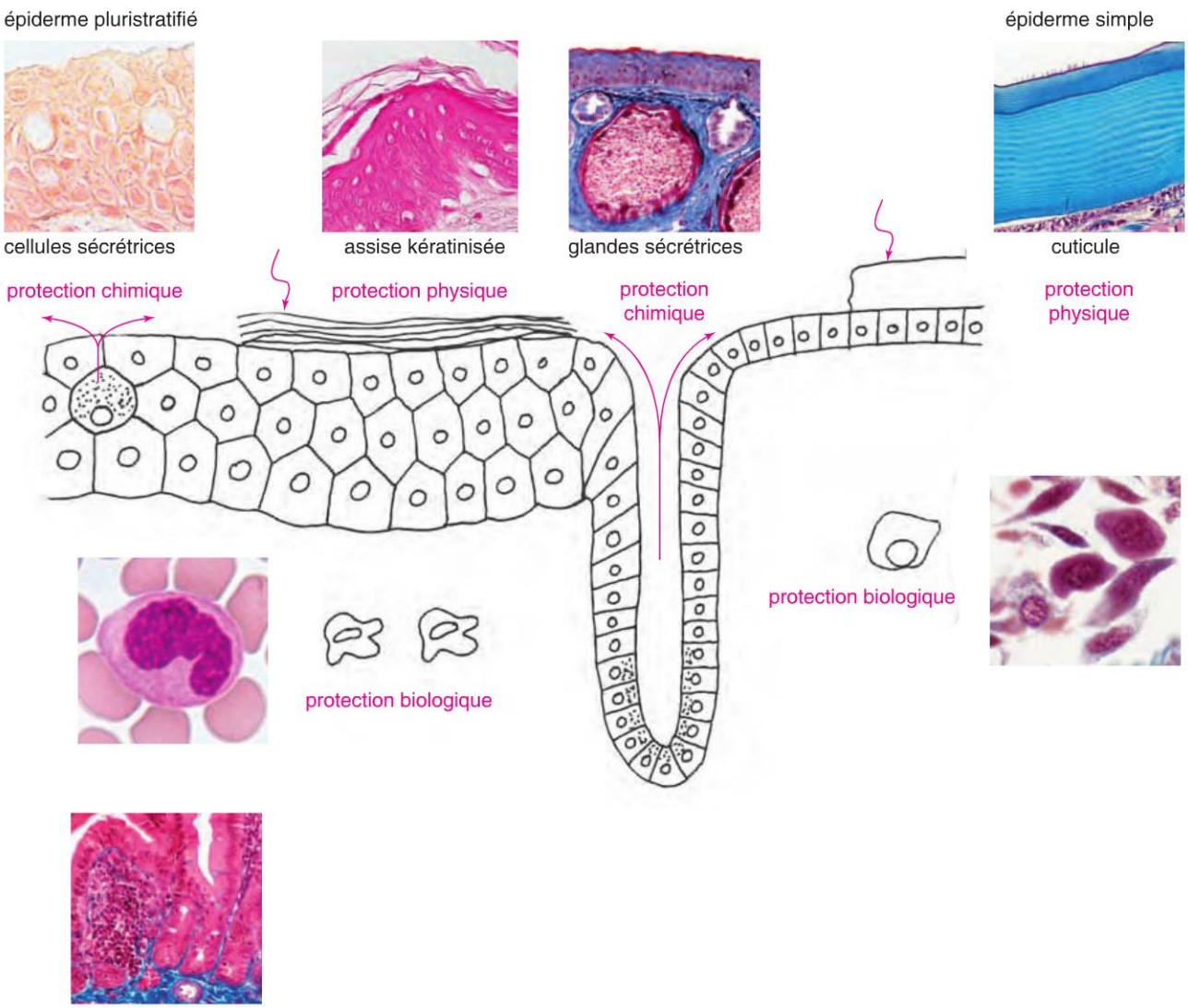
Figure 4. La plaque de Peyer du *Lapin* : un organe lymphoïde secondaire associé à la muqueuse intestinale (*coupe transversale, microscope photonique*) Dans les muqueuses des Mammifères comme la muqueuse intestinale, des nodules lymphoïdes sont observés. Simples agrégats de lymphocytes ou structures organisées comportant des centres germinatifs de prolifération cellulaire, ces nodules sont surmontés par l'épithélium de la muqueuse. Ils permettent l'induction de la réponse immunitaire vis-à-vis d'antigènes ayant traversé l'épithélium. Ils sont également présents dans les tractus respiratoire, urinaire et génital. Toutes ces structures sont regroupées sous le nom de MALT (tissu lymphoïde associé aux muqueuses ou *mucosae associated lymphoid tissue*). Dans le cas de l'intestin, elles prennent le nom de plaques de Peyer.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Tégument



Système immunitaire

Copyright © 2015 Dunod.

Unité et diversité de la protection par les systèmes tégumentaires et immunitaires des animaux

fiche 57

Les Métazoaires 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 sensibilité. Les fonctions de relation regroupent ces différents aspects.

Le tégument constitue le revêtement externe de l'organisme. De manière générale, il est formé d'un épithélium appelé épiderme, reposant parfois sur un tissu conjonctif, le derme. Les Vertébrés, à la différence des autres animaux, possèdent un épiderme pluristratifié.
Le tégument assure à l'organisme une protection de par la présence d'un tissu épithélial étanche. Elle est d'autant plus efficace que l'épiderme est plus épais, et constitué d'un nombre d'assises cellulaires élevé augmentant la résistance à l'abrasion. L'élaboration par les cellules épidermiques de dépôts externes rigides comme les cuticules, les coquilles ou les couches cornées contribue également à la protection mécanique (fiches 51 à 53).
Le tégument permet par ailleurs 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 et de mucus élaborés par des cellules glandulaires isolées ou groupées en glandes (fiches 51 à 53).
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 constituent une couche isolante qui évite les pertes de chaleur lorsque la température du milieu est faible (fiche 52). Inversement l'évaporation d'eau à la surface du tégument, provenant de la sueur par exemple, permet un refroidissement corporel.
Enfin, le tégument est un organe essentiel de la protection vis-à-vis d'agents biologiques. Il empêche la pénétration d'organismes pathogènes du fait de son étanchéité et produit des substances toxiques pour les prédateurs.
Outre ses fonctions protectrices, 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. Fréquemment coloré du fait de la présence de pigments et élaborant diverses substances, il est un support pour les relations intraspécifiques et interspécifiques. Il contribue à la perception de l'environnement grâce aux récepteurs sensoriels qu'il contient. Il est par ailleurs un acteur de la locomotion car il peut porter des cils et participe à la forme générale de l'organisme.

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. Elles interviennent en particulier au niveau des organes et agrégats lymphoïdes (fiches 54 à 56).

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

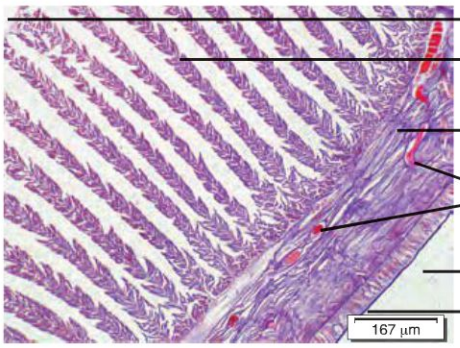


FIGURE 2

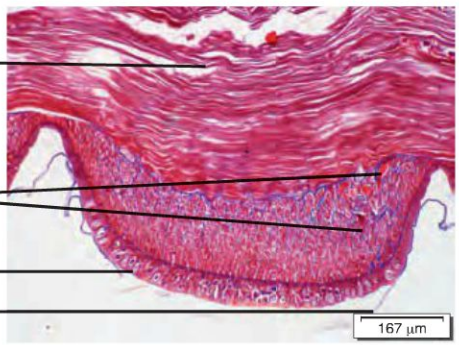


FIGURE 3

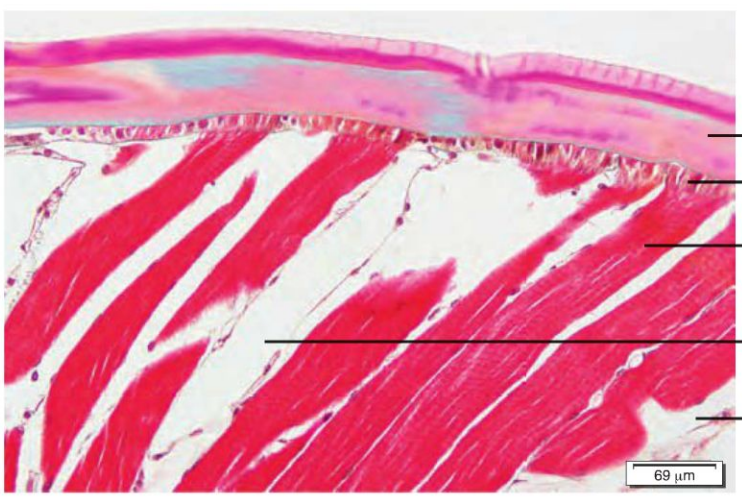
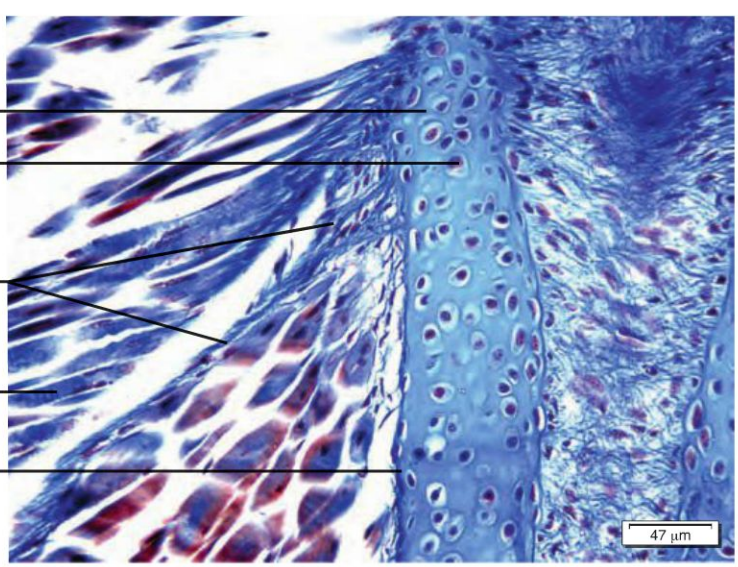


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

La mobilité et la diversité des associations entre musculature et squelette

fiche 58

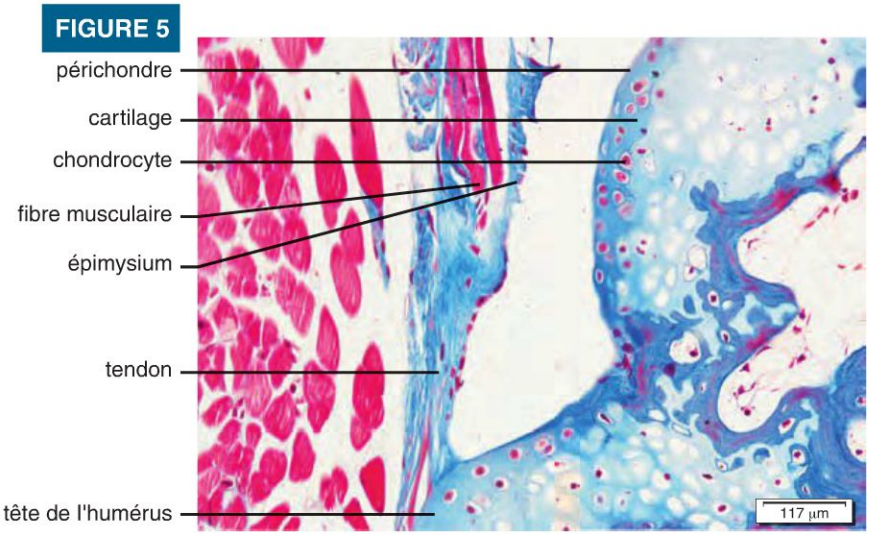
Les animaux sont généralement mobiles dans leur milieu. Ils se déplacent passivement, en flottant par exemple, ou activement en réalisant des mouvements par l'intermédiaire desquels ils exercent une force sur leur environnement qui restitue une force égale mais opposée, responsable de la propulsion de l'organisme. Le déplacement résulte de l'interaction entre l'animal et son milieu, et met le plus souvent en œuvre la musculature et le squelette de l'organisme.

Figures 1. et 2. La musculature et le cœlome du *Lombric* : une action de muscles pariétaux sur un hydrosquelette (*coupes transversale et longitudinale de la paroi du corps, microscope photonique*) Le corps du *Lombric* est constitué de métamères organisés autour de cavités cœlomiques closes et remplies de liquide (fiches 7, 8). Sous le tégument sont disposées deux tuniques de fibres musculaires circulaires et longitudinales. Lorsque l'une ou l'autre de ces tuniques se contracte, elle exerce une pression sur le liquide cœlomique. Le liquide étant incompressible et le volume des cavités cœlomiques 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 cœlomiques. La locomotion du *Lombric* met en œuvre de telles déformations : elle implique une onde de raccourcissements puis d'allongements 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. Les muscles jouent le rôle de structures motrices, les cavités cœlomiques et les soies transmettant les forces (fiche 51).

Figure 3. La musculature et la cuticule du *Criquet* : une action de muscles sur un exosquelette articulé (*coupe transversale de la paroi du corps, microscope photonique*) La paroi du corps du *Criquet* et des autres Arthropodes est formée d'un épiderme surmonté d'une cuticule externe rigide et articulée (fiches 15, 16, 51). Elle constitue un squelette externe appelé exosquelette. Des muscles striés sont insérés sur sa face interne ou sur des excroissances cuticulaires 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 le dispositif de transmission des forces, semblable à un levier.

Figures 4. et 5. La musculature et les os des Vertébrés : une action de muscles sur un endosquelette articulé (*coupe longitudinale de symphyse pubienne de* Grenouille *juvénile, coupe transversale d'humérus de* Triton*, microscope photonique)* Le corps des Vertébrés est soutenu par un squelette interne rigide et articulé, l'endosquelette. Il est composé de tissu osseux et/ou de tissu cartilagineux. Des muscles striés, qualifiés de squelettiques, y sont insérés soit directement par soudure de l'épimysium au périoste de l'os ou au périchondre du cartilage, soit indirectement par l'intermédiaire d'un tendon en continuité avec l'épimysium et inséré sur le squelette (fiche 59). Un muscle étant relié à deux pièces squelettiques jointes par une articulation, sa contraction provoque pivotement des pièces squelettiques autour de l'articulation. Le muscle constitue le moteur du mouvement et les pièces squelettiques assurent la transmission des forces.

FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

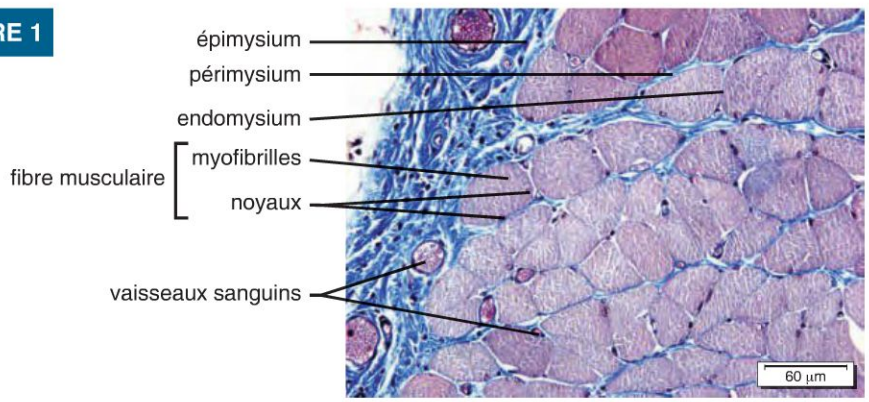


FIGURE 2

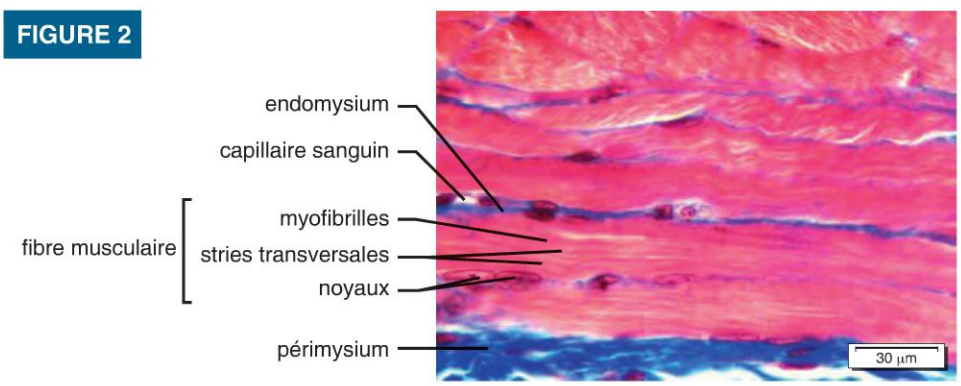


FIGURE 3

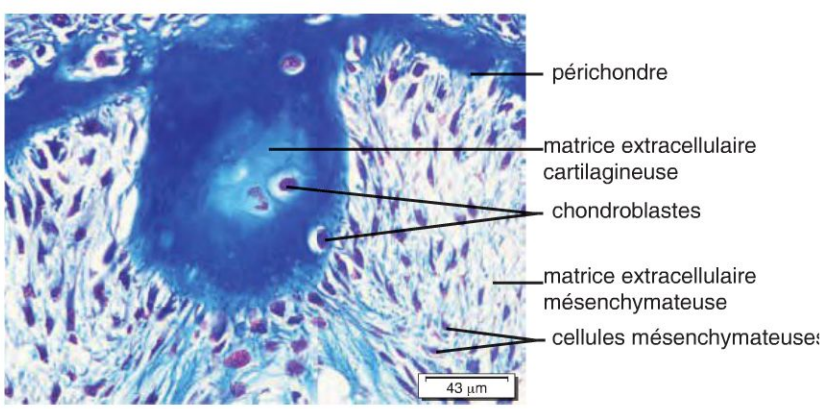
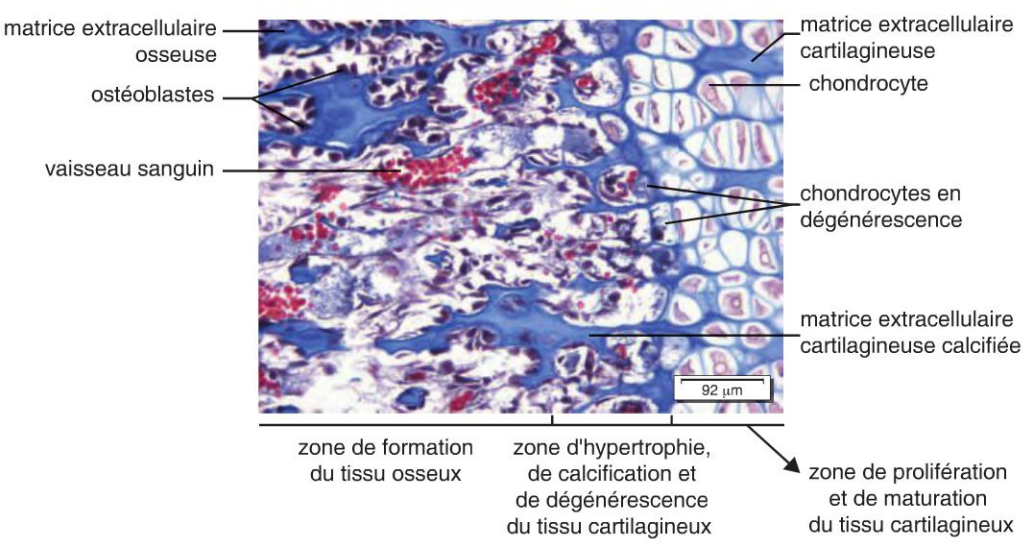


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Le développement et la transmission des forces par les systèmes musculaire et squelettique

fiche 59

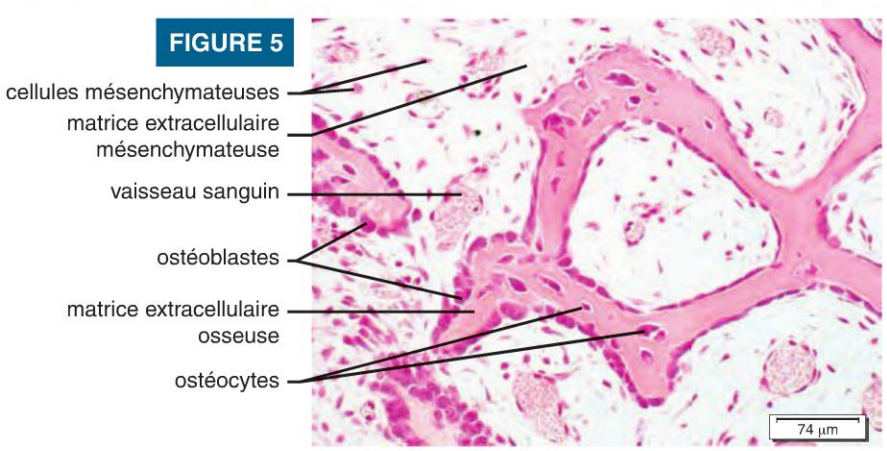
Le déplacement des animaux, lorsqu'il est actif, implique une musculature qui agit comme moteur des mouvements de par les propriétés contractiles des myocytes et une structure squelettique qui permet la transmission des forces à l'environnement en relation avec sa rigidité.

Figures 1. et 2. Le muscle strié squelettique de la *Souris* : des faisceaux de myocytes contractiles associés à du tissu conjonctif fibreux (*coupes transversale et longitudinale, microscope photonique*) Les muscles squelettiques sont formés de faisceaux longitudinaux de fibres musculaires striées. Ils sont emballés par du tissu conjonctif dense appelé épimysium, qui contribue à leur fixation au squelette et dans lequel pénètrent des vaisseaux sanguins et des nerfs. Les faisceaux et fibres sont entourés de tissu conjonctif plus lâche, irrigué et innervé, respectivement le périmysium et l'endomysium.

Figure 3. L'endosquelette des Vertébrés : des pièces cartilagineuses dérivées du mésenchyme (*coupe transversale de colonne vertébrale de larve de* Triton, *microscope photonique*) Le tissu mésenchymateux embryonnaire, à l'origine des tissus squelettiques, est formé de cellules irrégulières baignant dans un matériel extracellulaire constitué principalement de substance fondamentale. Elles donnent naissance à des cellules arrondies, les chondroblastes, qui après division synthétisent le matériel extracellulaire caractéristique du tissu cartilagineux. L'accumulation de ce matériel conduit à l'isolement des cellules qui le fabriquent et après quelques divisions supplémentaires, elles se différencient en chondrocytes. Le tissu cartilagineux ainsi formé est généralement entouré de tissu conjonctif dense, le périchondre contenant des chondroblastes, et s'accroît soit à partir de ce dernier soit à partir du centre.

Figure 4. L'endosquelette des Vertébrés : une succession de tissus cartilagineux et osseux (*coupe longitudinale de bras de fœtus humain, microscope photonique*) Au niveau du corps de l'os, la diaphyse, les chondrocytes sont hypertrophiés et le matériel extracellulaire cartilagineux est dégradé. Des cellules mésenchymateuses colonisent cette zone, se transforment en ostéoblastes et assurent la production de matériel extracellulaire osseux. Parallèlement, la couche profonde du périchondre est transformée en périoste. Ce processus de remplacement du tissu cartilagineux par du tissu osseux est qualifié d'ossification enchondrale.
La croissance des os en épaisseur est assurée par le périoste. Leur 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 y est formé en permanence, selon l'axe longitudinal de l'os. Du côté diaphysaire, il est transformé en cartilage hypertrophié et le matériel extracellulaire est progressivement ossifié. Parallèlement, l'ossification de l'épiphyse est réalisée, de la même manière que celle de la diaphyse.

Figure 5. L'endosquelette des Vertébrés : des pièces osseuses dérivées du mésenchyme (*coupe transversale de crâne d'embryon de* Souris, *microscope photonique*) Certains os, comme les os du crâne, sont formés par une ossification réalisée directement au sein du mésenchyme initial. Les cellules mésenchymateuses évoluent en ostéoblastes qui produisent le matériel extracellulaire osseux à partir de divers points appelés centres d'ossification. Ce phénomène est qualifié d'ossification dermique, ou ossification de membrane.



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

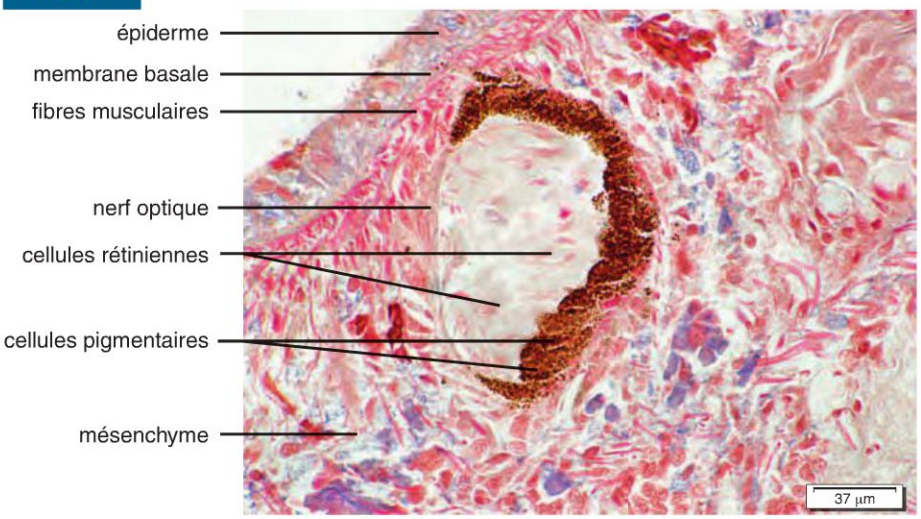


FIGURE 2

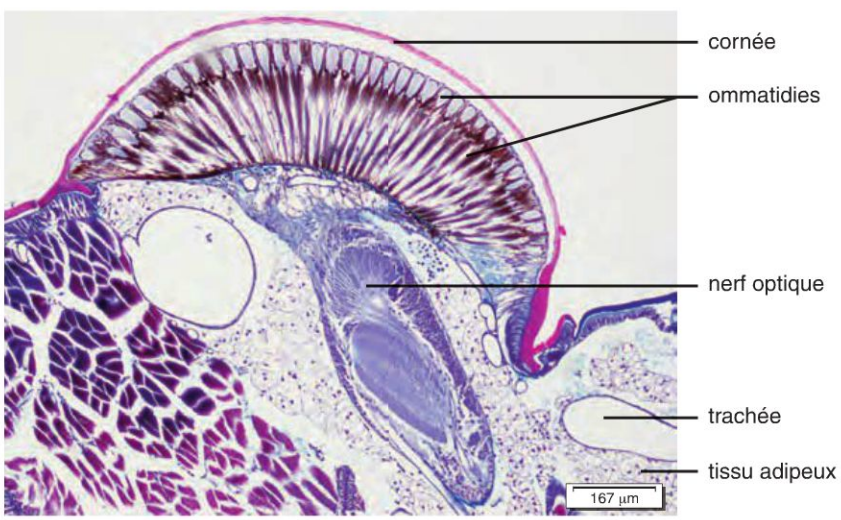
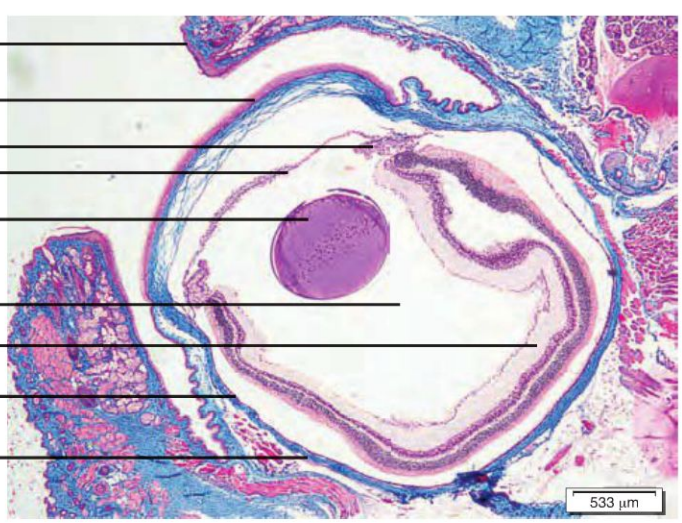


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Les yeux et la réception des informations lumineuses

fiche 60

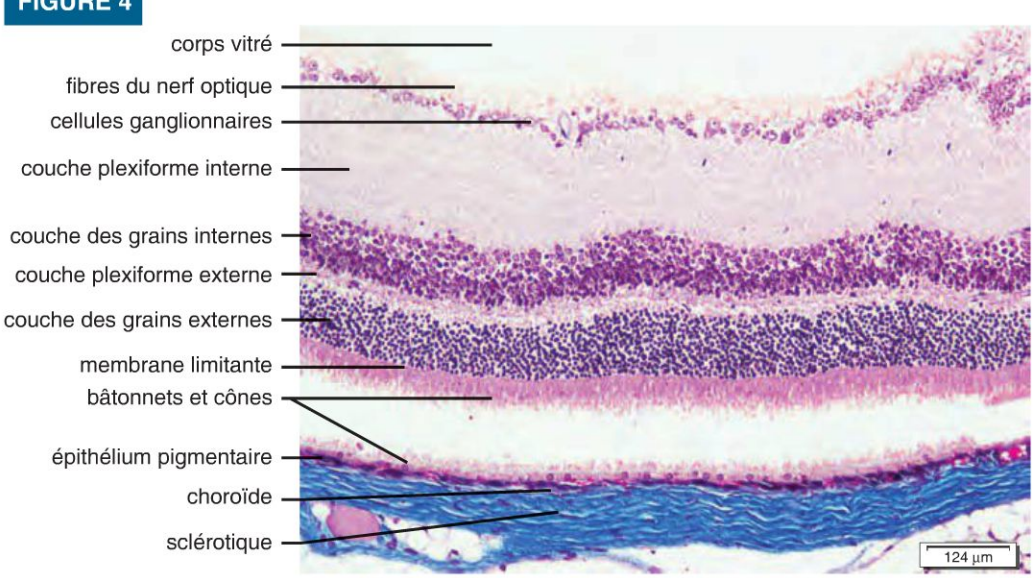
La vie des animaux implique la réception d'informations provenant du milieu, des autres organismes ou de l'organisme lui-même. Elle est le fait du système nerveux et plus particulièrement des structures sensorielles, sensibles à divers paramètres physiques et chimiques.
La sensibilité des Métazoaires à la lumière est assurée par des cellules photosensibles localisées à la surface du corps, qui sont le plus souvent regroupées en organes sensoriels. Le stimulus étant externe, les cellules et organes photorécepteurs appartiennent à la catégorie des extérocepteurs.

Figure 1. L'ocelle de la *Planaire* : un groupe de cellules sensibles à la lumière (*coupe transversale, microscope photonique*) Les organes photorécepteurs de la *Planaire* sont composés d'une cupule pigmentaire enfoncée dans le mésenchyme et associée à des cellules photosensibles qualifiées de rétiniennes (fiche 12). Grâce à ces structures, l'organisme semble capable de distinguer lumière et obscurité et de connaître la direction de la lumière.

Figure 2. L'œil composé du *Grillon* : une juxtaposition d'ommatidies photosensibles (*coupe transversale, microscope photonique*) Les Arthropodes possèdent parfois des ocelles, comme les larves d'Insectes et certains Insectes adultes. Cependant, ils sont le plus souvent dotés d'yeux composés formés d'unités photoréceptrices juxtaposées, les ommatidies (fiches13,15). Chaque ommatidie 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 ommatidies fournit une image à l'organisme. Ce dispositif permet aux Arthropodes de distinguer les couleurs et de percevoir les mouvements.

Figures 3. et 4. L'œil camérulaire de *Souris* : des cellules photosensibles diverses associées à des lentilles en un organe complexe (*coupe transversale, microscope photonique*) L'œil des Mammifères comme la *Souris* 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. Une chambre remplie de liquide, le corps vitré, est intercalée entre l'ensemble cornée-cristallin et la rétine, organisation caractéristique des yeux camérulaires. 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 photosensibles et donnant naissance au nerf optique. Une image de l'objet observé est formée sur la rétine par le jeu de la cornée et du cristallin jouant le rôle de lentilles optiques.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

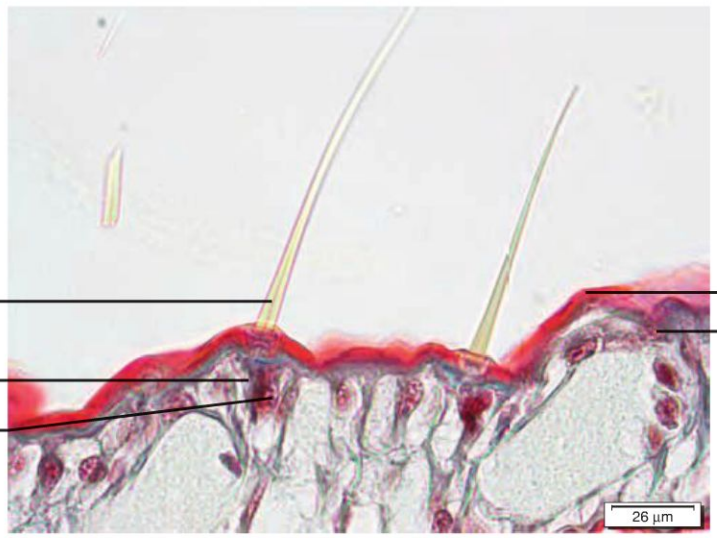


FIGURE 2

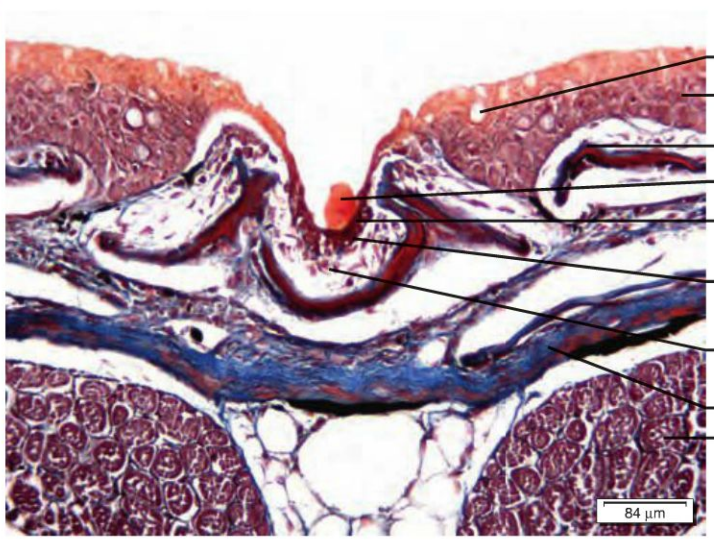
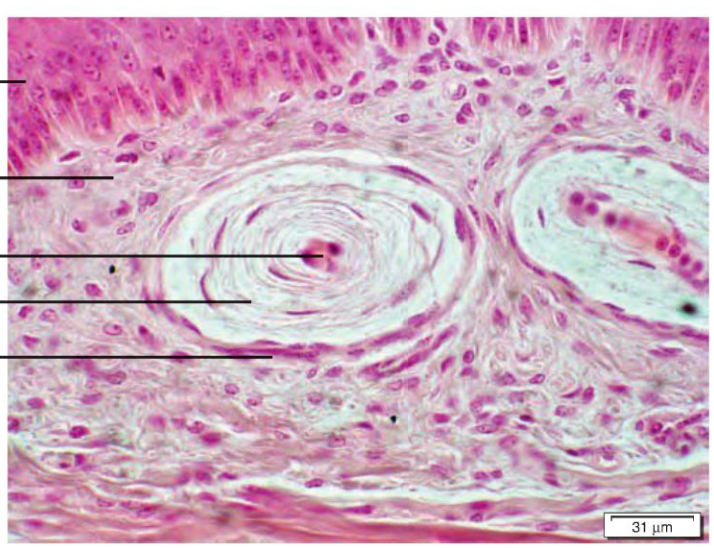


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Les mécanorécepteurs et la réception des informations mécaniques

fiche 61

Les animaux perçoivent des informations provenant du milieu, des autres organismes ou de l'organisme lui-même. La sensibilité aux paramètres physiques et chimiques est le fait des structures sensorielles. Parmi elles, les mécanorécepteurs se présentent comme des structures sensibles à des stimulations mécaniques aussi diverses que les vibrations, les pressions et les tensions. Ils renseignent l'organisme sur son environnement lorsqu'ils sont localisés à sa surface et appartiennent alors à la catégorie des extérocepteurs.

Figure 1. La soie sensorielle du *Grillon* : une structure tégumentaire tactile (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Les Arthropodes sont protégés par un tégument rendu rigide par la présence d'une cuticule (fiches 13 à 16). Ils reçoivent cependant des informations sensorielles par son intermédiaire, grâce aux nombreuses soies qu'il porte. Expansions produites par des cellules trichogènes épidermiques, les soies sont reliées à des cellules nerveuses. Elles permettent notamment la sensibilité tactile et sont particulièrement nombreuses sur les antennes.

Figure 2. Le neuromaste de la *Truite* : une structure localisée dans le tégument, sensible aux mouvements d'eau (*coupe transversale, microscope photonique*) Les Téléostéens comme la *Truite* 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 où ils sont représentés par le canal de la ligne latérale, et communiquant avec l'extérieur par des pores (fiche 53). Les canaux du système latéral portent des renflements sensoriels, les neuromastes, constitués de cellules sensorielles munies d'un kinétocil et de stéréocils baignant dans une masse de substance de consistance gélatineuse, la cupula. Elles 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 kinétocil et stéréocils, mais aussi aux vibrations.

Figure 3. Le corpuscule de Herbst du *Canard* : une structure située dans le tégument sensible aux stimulations mécaniques (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Chez les Oiseaux de même que chez les Mammifères de nombreux récepteurs sensoriels cutanés sont présents. Parmi eux, les corpuscules de Herbst sont aisément observés. Situés 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, il se déforme et la terminaison nerveuse est stimulée.

Figure 4. La vibrisse du *Rat* : un poil long et épais sensible aux pressions (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Les vibrisses sont des structures sensorielles principalement présentes sur le museau chez le *Rat*. Elles forment de longues expansions rigides et mobiles (fiche 26). Sensibles à la pression et aux vibrations, elles permettent l'exploration tactile de l'environnement (forme, texture, dimension).

Les vibrisses possèdent la même organisation que les poils : un follicule pileux est enfoncé dans le derme et une tige kératinisée fait saillie à l'extérieur (fiche 52). Le follicule pileux est formé de deux gaines épithéliales, externe profonde et interne superficielle et kératinisée, en continuité avec l'épiderme. Il est cependant étroitement associé à un réseau de fibres nerveuses et entouré de sinus sanguins susceptibles de se remplir ou se vider. Des fibres musculaires sont reliées à l'ensemble. Les déformations des vibrisses sont amplifiées par les sinus sanguins dilatés par le sang et stimulent les fibres nerveuses associées, à l'origine d'un message nerveux sensoriel.

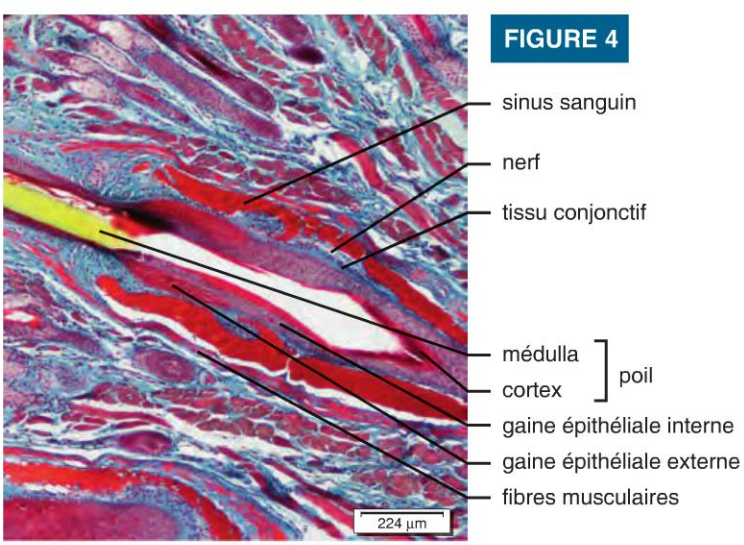


FIGURE 4

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

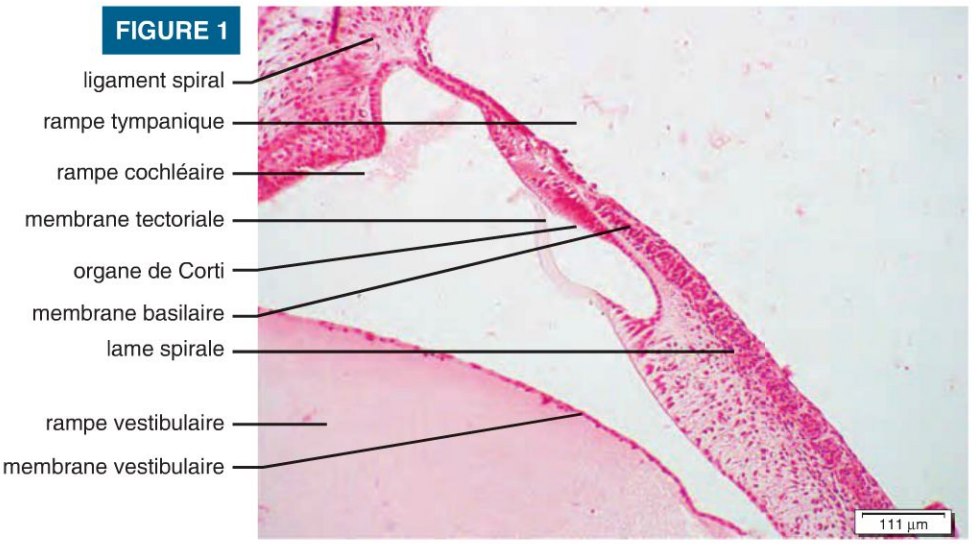


FIGURE 2

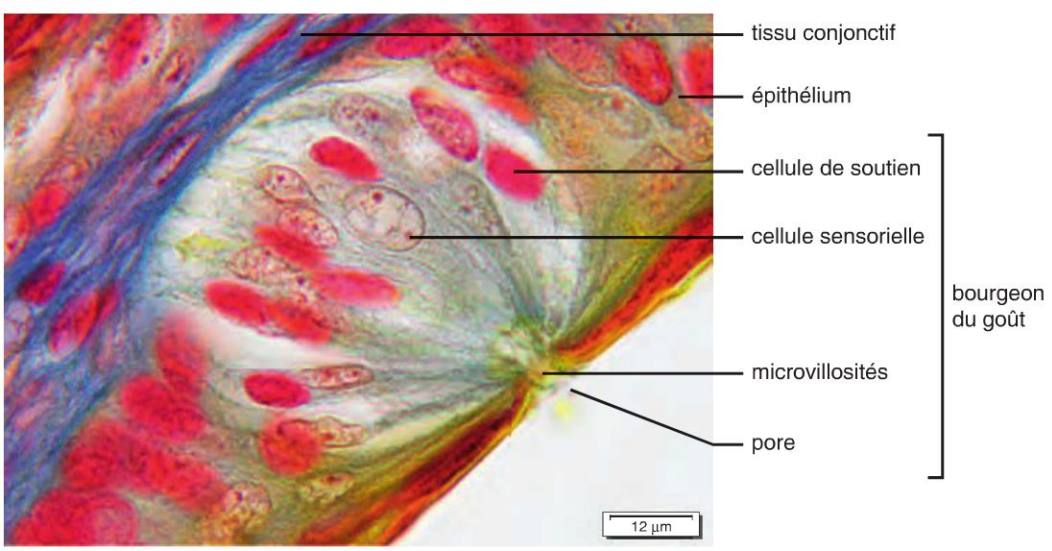
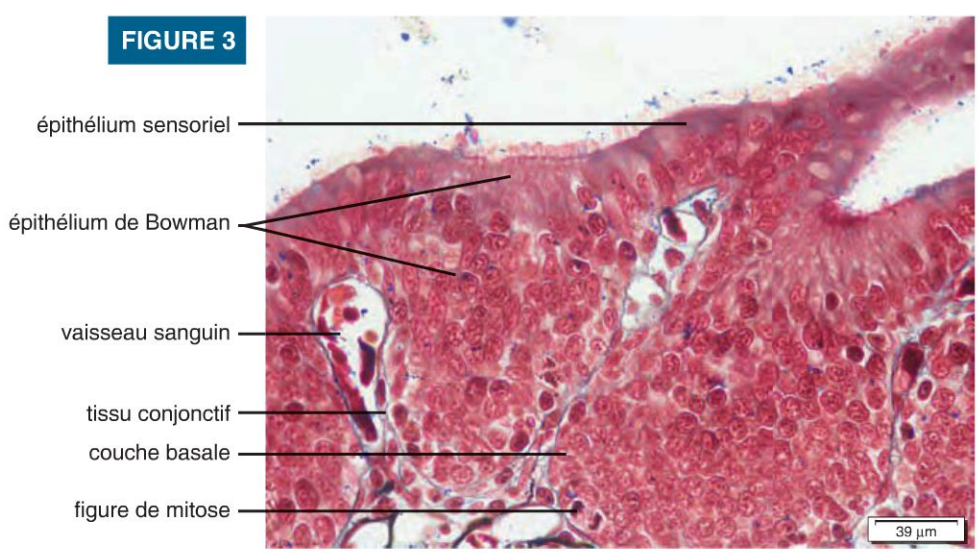


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Les mécanorécepteurs et les chémorécepteurs, la réception des informations mécaniques et chimiques

fiche 62

Les animaux reçoivent de multiples informations provenant de leur milieu de vie, des autres organismes ou de l'organisme lui-même. De natures diverses, elles sont détectées grâce à des structures sensorielles. À la sensibilité aux stimulations physiques comme les vibrations, due aux mécanorécepteurs, s'ajoute une sensibilité aux stimulations chimiques, impliquant des chémorécepteurs. Chez les Vertébrés, la réception de ces stimulations se manifeste par les sens de la gustation (goût) et de l'olfaction (odorat). Les chémorécepteurs renseignent l'organisme sur son environnement lorsqu'ils sont localisés à sa surface et appartiennent alors à la catégorie des extérocepteurs.

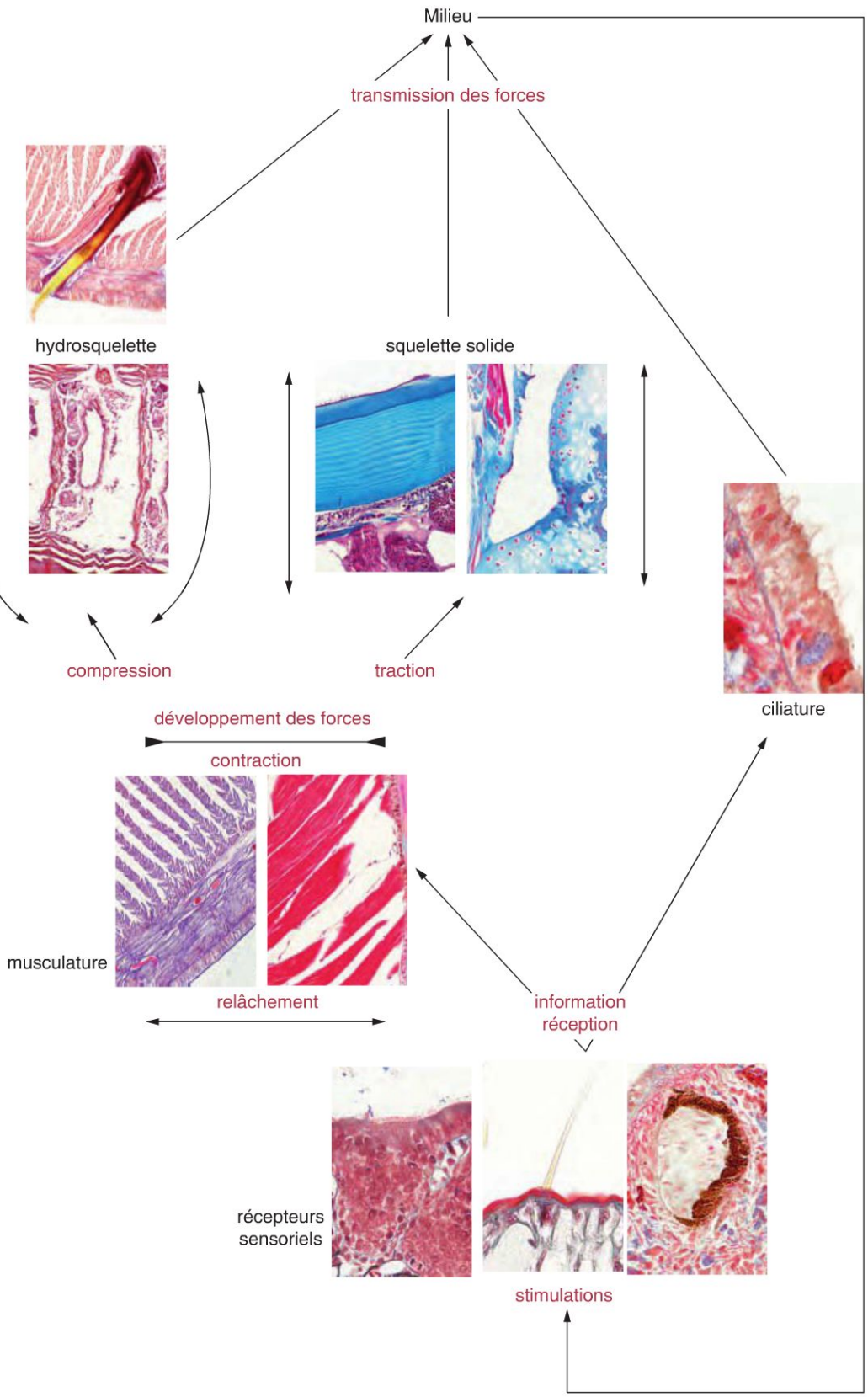
Figure 1. La cochlée du *Chat* : un organe sensoriel complexe sensible aux vibrations sonores (*coupe longitudinale, microscope photonique*) L'oreille, organe de l'audition, est un dispositif permettant la réception de stimulations mécaniques. Chez les Mammifères comme le *Chat*, elle est composée d'une oreille externe représentée par le pavillon et le conduit auditif externe, assurant la réception et la canalisation des ondes sonores vers le tympan, d'une oreille moyenne formée du tympan et des osselets, responsable de la transmission et l'amplification des vibrations sonores, et d'une oreille interne renfermant un milieu liquidien et les cellules sensorielles sensibles aux vibrations (fiche 26). Elles 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 stéréocils baignant dans un gel appelé membrane tectoriale. Les vibrations provoquent une inclinaison des stéréocils 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 constituant l'organe vestibulaire, dont le fonctionnement est proche de celui des neuromastes des Téléostéens (fiche 61).

Figure 2. Le bourgeon du goût du *Lapin* : des groupes de cellules sensibles aux molécules en solution (*coupe transversale, microscope photonique*) La gustation est réalisée 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 présentant de longues microvillosités apicales, et assurant également le renouvellement des cellules sensorielles. 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.

Figure 3. L'épithélium olfactif de la *Grenouille* : des ensembles cellulaires sensibles aux molécules après dissolution (*coupe transversale, microscope photonique*) L'olfaction implique des cellules réceptrices de l'épithélium nasal. Pseudostratifié et prismatique, l'épithélium nasal 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 Bowman. 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.

Copyright © 2015 Dunod.

Les relations : mobilité et sensibilité, systèmes musculaire, squelettique et sensible



Copyright © 2015 Dunod.

Unité et diversité de la mobilité et de la sensibilité des animaux

fiche 63

Les Métazoaires sont généralement mobiles dans leur milieu de vie. L'orientation de leurs déplacements est en particulier déterminée par les paramètres physiques et chimiques de leur environnement.

Le déplacement des animaux, lorsqu'il est actif, implique le plus souvent une musculature qui agit comme moteur des mouvements de par les propriétés contractiles des cellules qui la composent, et une structure squelettique qui permet la transmission des forces à l'environnement, quelle que soit sa nature (hydrosquelette ou squelette solide - fiches 58, 59). D'autres modes de locomotion existent toutefois. Ainsi, les *Planaires* se déplacent grâce aux mouvements de leurs cils épidermiques (fiche 12). Expansions cellulaires soutenues par des axonèmes, les cils battent grâce aux glissements des microtubules des axonèmes.
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* ou les membres postérieurs de la *Grenouille* présentent une forme en Z adaptée à la progression par sauts ; les animaux volants comme les Insectes et les Oiseaux possèdent des ailes développant une grande surface et mues par des muscles puissants (fiches 15, 24). Le plus souvent, les adaptations concernent également d'autres structures corporelles comme le tégument : les plumes des Oiseaux sont par exemple adaptées au vol et la palmure des doigts des Lissamphibiens à la nage (fiches 24, 52).
Certains animaux sont cependant immobiles ou peu mobiles, au moins durant une partie de leur cycle de vie. Les animaux parasites comme le *Ténia* ou vivant fixés comme l'*Hydre d'eau douce* sont dans cette situation. S'ils développent des structures anatomiques assurant leur fixation, ils possèdent généralement une musculature et un squelette leur permettant de réaliser des mouvements (fiches 5, 12).

La perception de l'environnement par les animaux fait intervenir de multiples types de récepteurs sensoriels, cellules nerveuses spécialisées, classés d'après la nature des stimulations auxquels ils sont sensibles. Ainsi, les photorécepteurs sont à l'origine de la sensibilité à la lumière, les mécanorécepteurs permettent la réception des vibrations, des pressions, des contacts ou de l'étirement, les chémorécepteurs apportent des informations quant à la composition chimique du milieu (fiches 60 à 62). 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 des informations sur le milieu extérieur et sont appelés extérocepteurs. Il existe également des récepteurs sensoriels 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 la paroi corporelle des Cnidaires ou dans l'épiderme des Annélides (fiches 5, 7, 8). Les cellules sensorielles peuvent aussi être groupées, voire associées à d'autres tissus en des organes sensoriels complexes (fiches 60 à 62). Les structures sensorielles sont fréquemment concentrées dans certaines régions du corps, en particulier au niveau de la tête, leur regroupement participant au processus de céphalisation.
Du point de vue fonctionnel, la réception d'une stimulation implique des phénomènes de transduction (du fait de la stimulation, la cellule est excitée) et d'élaboration d'une information (production d'un message nerveux). La cellule sensorielle peut être à la fois le siège de la transduction et de l'élaboration du message nerveux comme dans le cas des soies des Insectes ou des mécanorécepteurs cutanés (fiche 61). Cependant, pour les neuromastes (fiche 61), l'organe de Corti et les bourgeons du goût, la transduction et l'élaboration du message nerveux sont dissociés : la première est le fait de cellules réceptrices et le second est dû à des neurones faisant synapse avec les cellules réceptrices (fiches 61, 62). Dans l'œil des Vertébrés, les deux processus sont dissociés et des neurones intermédiaires sont intercalés entre les photorécepteurs et les neurones élaborant le message nerveux, permettant un premier traitement de l'information (fiche 60).

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

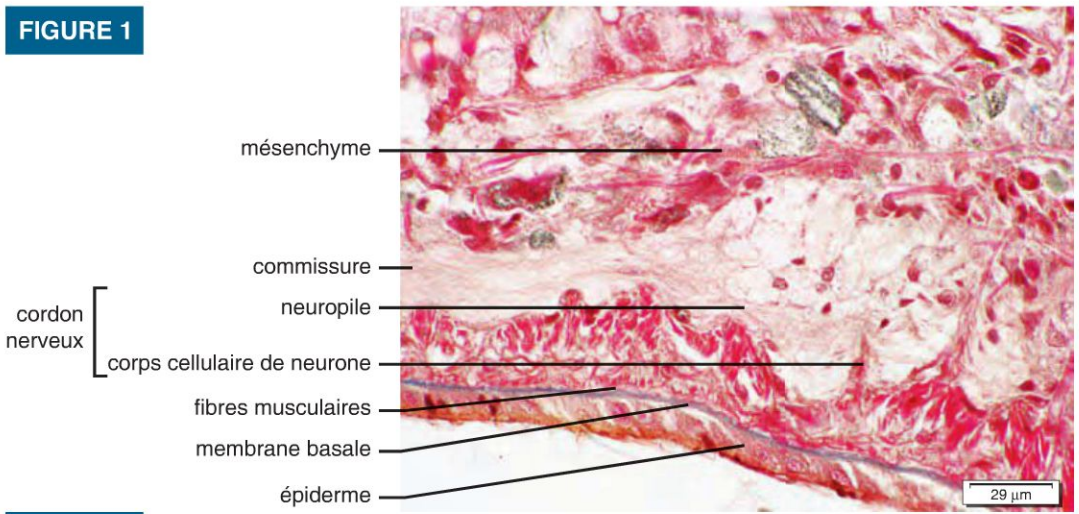


FIGURE 2

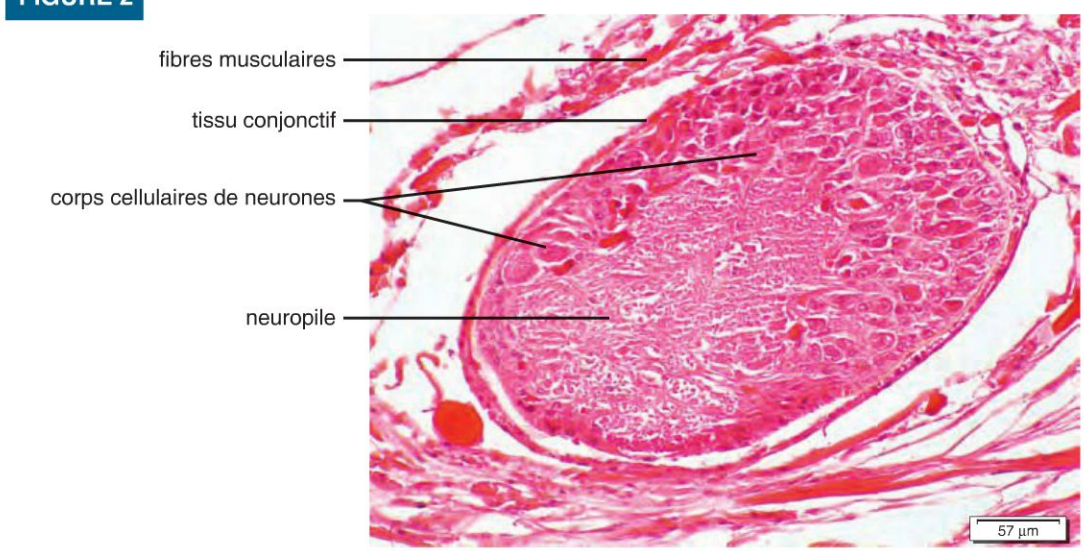
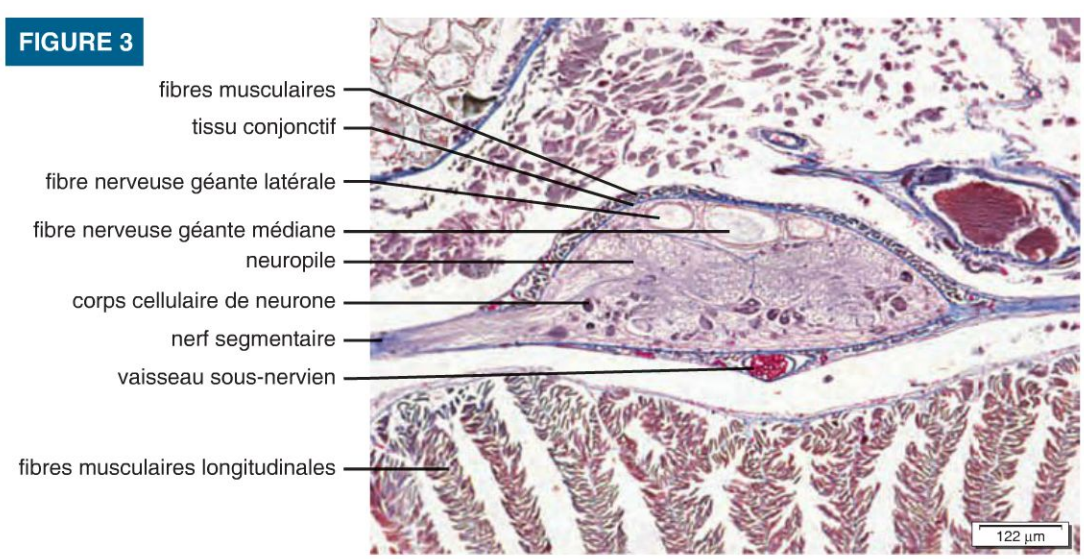


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La centralisation des systèmes nerveux des Protostomiens

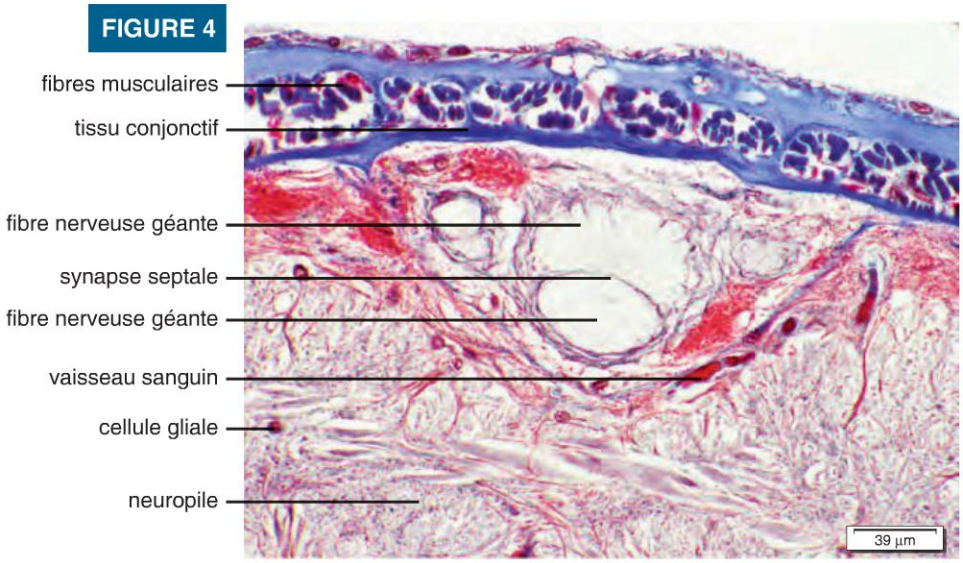
fiche 64

Les animaux sont formés de divers organes, appareils et systèmes interdépendants, dont les fonctionnements sont coordonnés. Les relations établies entre les composants des organismes ainsi que le contrôle de leurs activités constituent les fonctions d'intégration. Elles impliquent les systèmes nerveux et endocrinien, ainsi que les appareils circulatoires.
Le système nerveux est le support anatomique de la réception, la transmission, l'intégration et l'émission d'informations sous forme d'influx nerveux. Si le système nerveux des Cnidaires est constitué d'un ensemble diffus de cellules formant un réseau respectant la morphologie et l'anatomie de l'organisme (fiche 5), chez les Bilatériens des centres nerveux, reliés entre eux par des faisceaux de fibres (connectifs ou commissures), regroupent les neurones, et sont associés à des réseaux périphériques moins denses.

Figure 1. Le système nerveux de la *Planaire* : des cordons longitudinaux ventraux reliés par des commissures (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez les Plathelminthes, les centres nerveux sont représentés par des ganglions cérébroïdes antérieurs et dorsaux associés à des cordons nerveux longitudinaux ventraux, réunis entre eux par des commissures (fiche 12). 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 et constituent le neuropile. Des nerfs relient le système nerveux central aux structures sensorielles et à des plexus périphériques, épidermiques, musculaires, pharyngien et génital. Les centres nerveux sont responsables de la coordination générale des activités tandis que les plexus seraient à l'origine de réflexes locaux simples.

Figures 2., 3. et 4. Le système nerveux du *Lombric* : une paire de ganglions cérébroïdes et une chaîne nerveuse ganglionnaire ventrale (*coupe longitudinale de ganglion cérébroïde, coupes transversales de chaîne nerveuse ventrale, microscope photonique*) Chez le *Lombric* et chez les autres Annélides, le système nerveux central comporte une paire de ganglions cérébroïdes dorsaux et antérieurs, reliés à une chaîne nerveuse ventrale par un collier périœsophagien (fiche 7). La chaîne nerveuse est constituée d'une paire de ganglions par métamère, le plus souvent fusionnés. Les ganglions droit et gauche d'un métamère sont raccordés à leurs homologues des métamères antérieur et postérieur par des connectifs. Trois ou quatre paires de nerfs segmentaires y sont connectées, assurant la liaison entre système nerveux central et récepteurs sensoriels et/ou organes effecteurs. Un système stomatogastrique, représenté par des plexus associés au tube digestif, est par ailleurs observé. Les ganglions comportent en périphérie les corps cellulaires des neurones, alors que les fibres nerveuses occupent leur centre où elles font synapse, formant le neuropile. Des fibres géantes, dont le diamètre varie de 50 à 75 µm, sont fréquemment visibles en positions dorsale et ventrale, associées à des cellules gliales.
Cette organisation permet un contrôle métamérique des activités. La présence de neurones émettant des prolongements dans des ganglions successifs autorise parallèlement le développement d'un contrôle intermétamérique.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

FIGURE 2

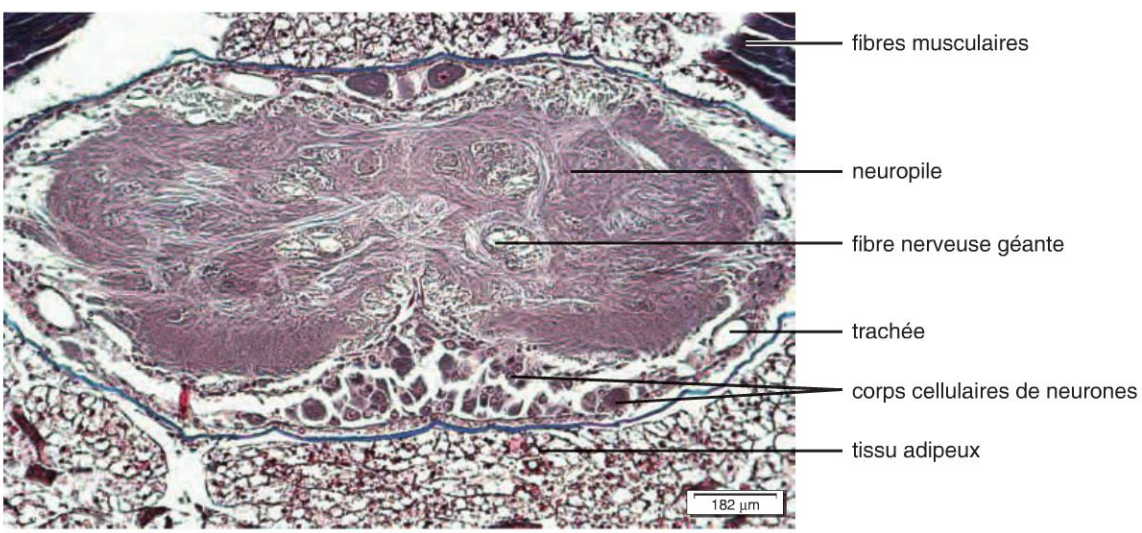
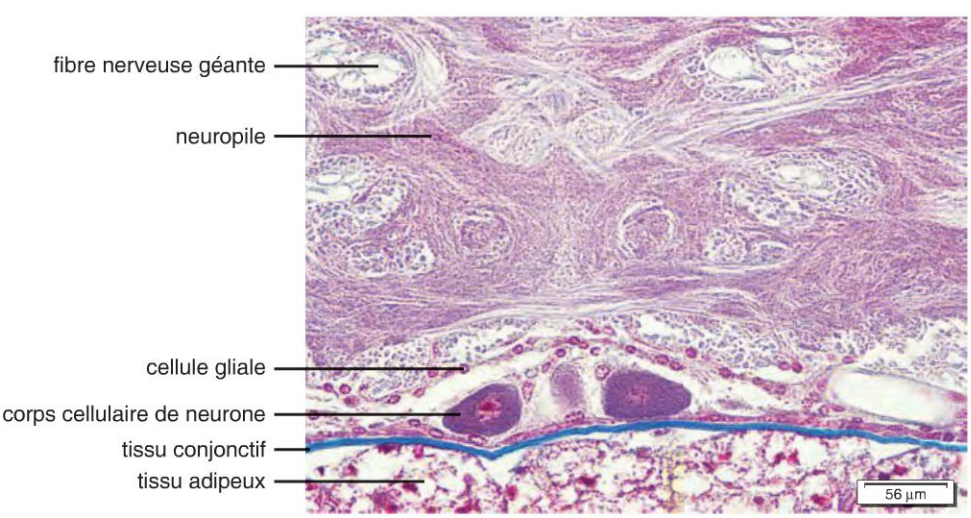


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La cérébralisation des systèmes nerveux des Protostomiens

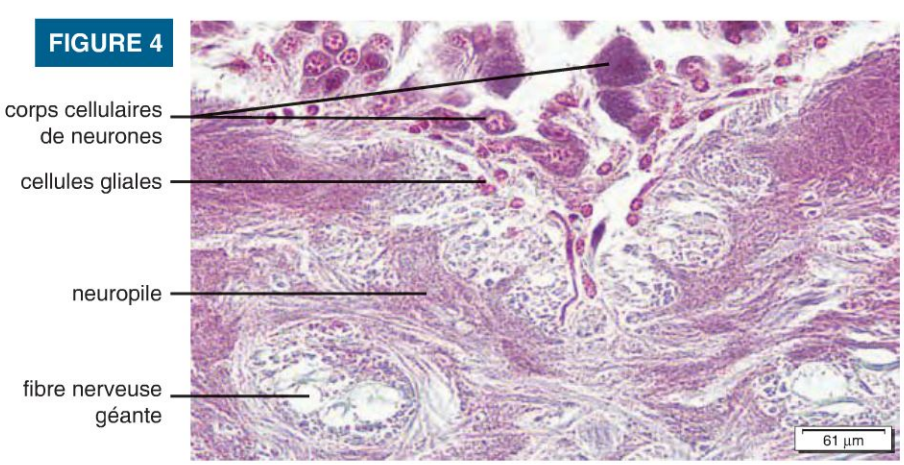
fiche 65

Le fonctionnement harmonieux des organismes animaux implique le contrôle et la coordination des processus physiologiques. Les systèmes nerveux et endocrinien en sont responsables.
Le système nerveux est essentiellement formé de cellules nerveuses, ou neurones, associées à des cellules d'accompagnement, les cellules gliales. Les neurones possèdent un corps cellulaire contenant le noyau et la plupart des organites, ainsi que deux catégories de prolongements appelés fibres. Les dendrites, qualifiées de centripètes, conduisent l'influx nerveux de la périphérie de la cellule vers le corps cellulaire alors que l'axone, dit centrifuge, achemine l'influx du corps cellulaire vers la périphérie de la cellule.
Le système nerveux comporte des centres nerveux, regroupements de neurones, et des structures périphériques, leur connexion étant assurée par des nerfs. La centralisation est fréquemment accompagnée d'une céphalisation, concentration privilégiée d'éléments nerveux, récepteurs sensoriels et centres nerveux, au niveau de la tête. La concentration des centres nerveux dans la tête détermine la formation d'un cerveau, processus appelé cérébralisation.

Figure 1. Le cerveau du *Grillon* : des centres nerveux céphaliques régionalisés (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Le système nerveux central du *Grillon* est constitué, comme celui du *Criquet*, d'une masse nerveuse céphalique et dorsale organisée en trois régions : le protocérébron innervant en particulier les yeux, le deutocérébron formé des centres olfactifs et moteurs et relié aux antennes, le tritocérébron innervant la lèvre supérieure et la région antérieure du tube digestif (fiche 15). Le protocérébron contient les corps pédonculés, centre d'intégration impliqués dans l'apprentissage et la mémoire. Un collier périœsophagien met en relation la masse céphalique dorsale avec une masse sous-œsophagienne résultant de la fusion de plusieurs ganglions et innervant la sphère buccale.
Ensemble d'amas de neuropile correspondant à des centres nerveux, cette structure constitue un cerveau.

Figures 2., 3. et 4. La chaîne nerveuse ventrale du *Grillon* : une fusion des ganglions de différents métamères (*coupes transversales, microscope photonique*) Le cerveau du *Grillon,* comme celui du *Criquet* est en continuité avec une chaîne nerveuse ventrale, la liaison étant réalisée par des connectifs (fiche 15). L'organisation métamérique typique, comportant une paire de ganglions par métamère reliés entre eux par une commissure et avec les ganglions des métamères antérieur et postérieur par des connectifs, est masquée du fait de la fusion des ganglions au sein d'un même métamère et entre les métamères successifs. De chaque ganglion se détachent plusieurs paires de nerfs desservant notamment les appendices, les muscles et la cuticule. Un système stomatogastrique complète ce dispositif, responsable de la coordination de la prise de nourriture et des mouvements digestifs.
Dans les centres nerveux, les corps cellulaires des neurones sont périphériques alors que les fibres nerveuses, fréquemment associées à des cellules gliales, forment le neuropile central. Des fibres géantes sont également observées.
Cette disposition permet un contrôle métamérique des activités auquel est superposé un contrôle intermétamérique.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

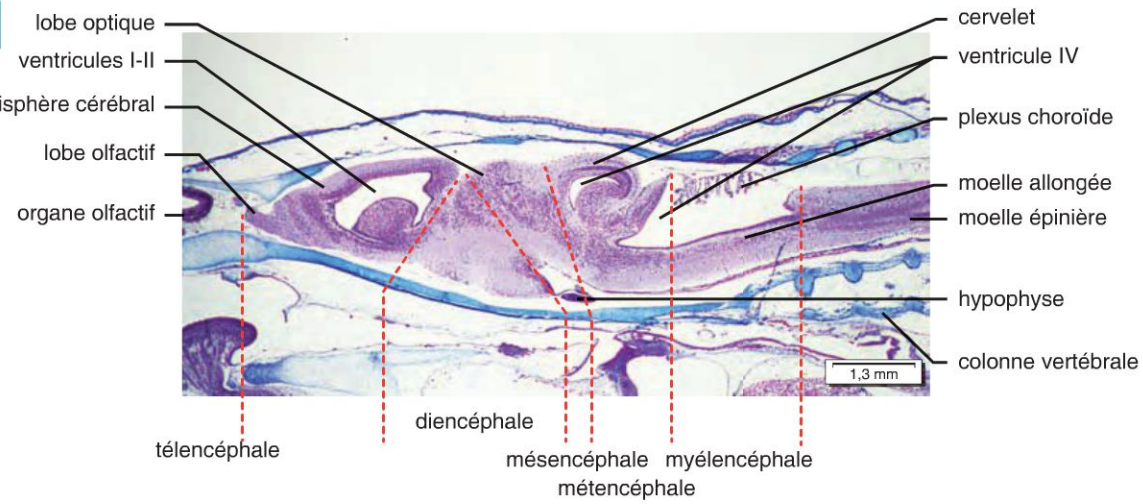


FIGURE 2

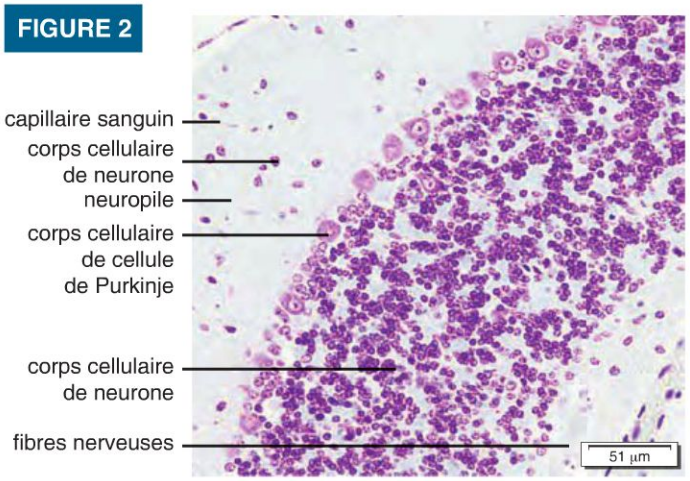


FIGURE 4

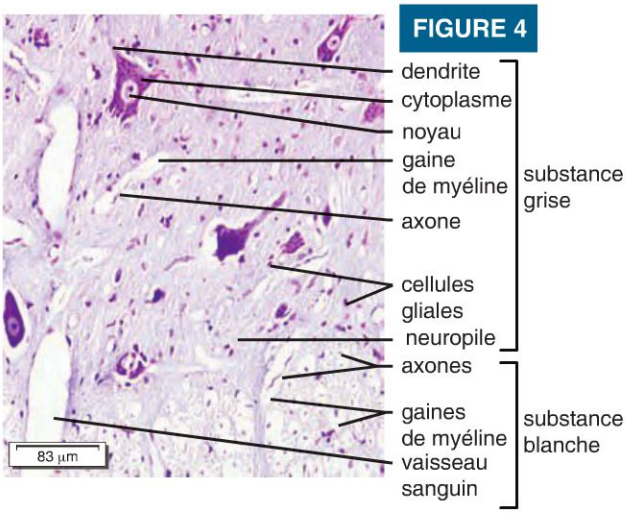
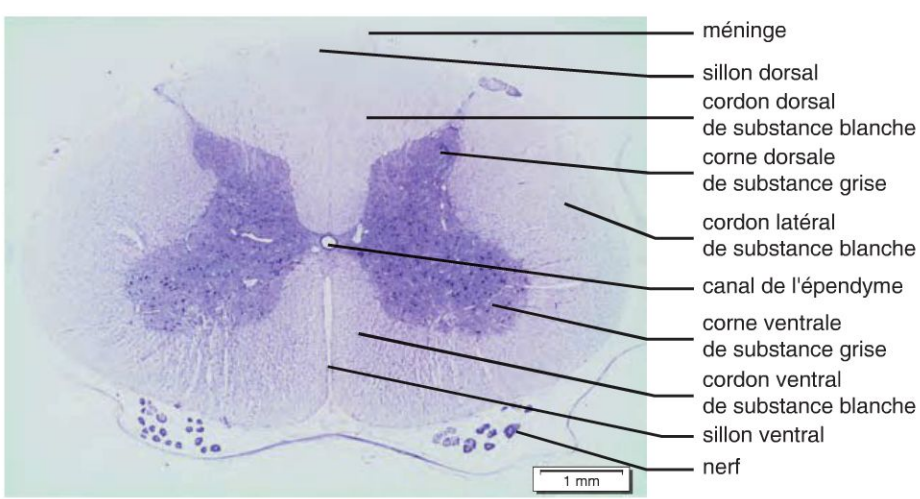


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La conduction et l'intégration dans le système nerveux central des Vertébrés

fiche 66

Chez les Vertébrés le système nerveux, dispositif anatomique spécialisé dans la réception, la transmission et l'intégration des informations, comporte des centres nerveux représentés par l'encéphale et la moelle épinière ainsi que des structures périphériques correspondant aux nerfs, récepteurs sensoriels et ganglions nerveux (fiches 60 à 62,67). En raison de la présence de centres nerveux, il est le fruit d'une centralisation. Le regroupement de certains centres nerveux et récepteurs sensoriels au niveau de la tête résulte d'une céphalisation accompagnée d'une cérébralisation, formation d'un cerveau par développement de la région antérieure de l'encéphale.

Figure 1. L'encéphale du têtard de *Grenouille* : des centres nerveux céphaliques régionalisés, dilatations du tube nerveux (*coupe sagittale, stéréomicroscope*) Le système nerveux central de la larve de *Grenouille*, comme celui des autres Vertébrés, est représenté dans la région antérieure par un renflement du tube nerveux, l'encéphale (fiches 22, 24, 26). Il est divisé 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, il est composé de l'épithalamus (centre de corrélation olfactive) et de l'épiphyse (œil pinéal, région sécrétrice de mélatonine) dorsaux, du thalamus latéral (centre sensorimoteur) ainsi que de l'hypothalamus ventral (centre supérieur du système nerveux végétatif). Le mésencéphale médian est constitué des lobes optiques (relais visuels) et tores semicirculaires (relais du système latéral statoacoustique) 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. 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).

Figure 2. Le cervelet de la *Souris* : une région de l'encéphale à substance grise périphérique et substance blanche centrale (*coupe transversale, microscope photonique*) Le cervelet de la *Souris*, à l'instar des autres régions de l'encéphale, apparaît formé de substance grise et de substance blanche (fiche 26). La substance grise contient de nombreux corps cellulaires de neurones, des prolongements nerveux et des cellules gliales. La substance blanche ou neuropile est constituée uniquement de fibres nerveuses, associées à des cellules gliales et fréquemment myélinisées.
L'encéphale est enveloppé de tuniques conjonctives, les méninges.

Figures 3. et 4. La moelle épinière du *Chat* : un tube nerveux dorsal à substance blanche périphérique et substance grise centrale (*coupe transversale, stéréomicroscope et microscope photonique*) Dans sa région postérieure, le système nerveux central des Vertébrés, est formé de la moelle épinière. Elle 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. Courant dans le canal vertébral et 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.
Elle est constituée de substance blanche périphérique et de substance grise centrale.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

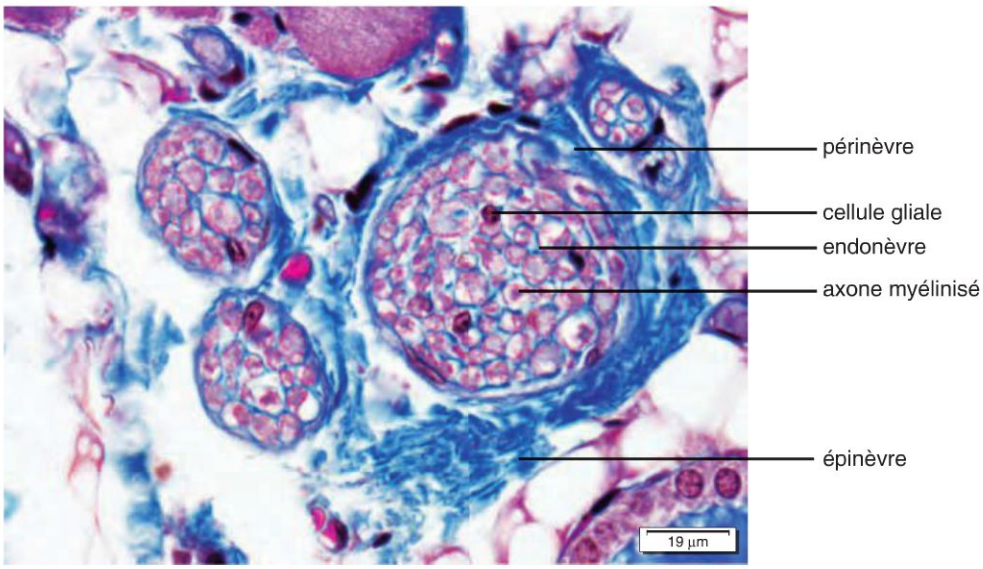


FIGURE 2

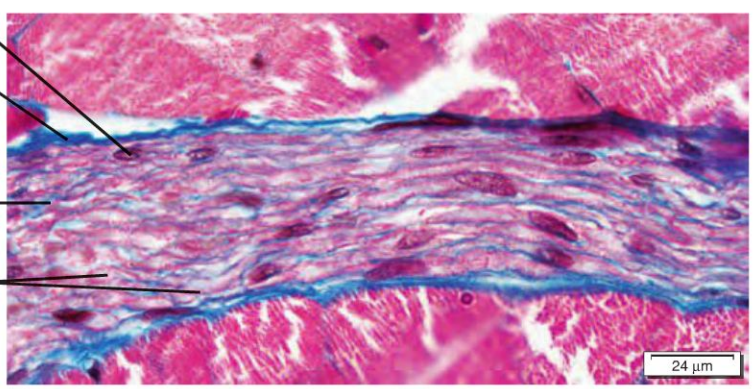
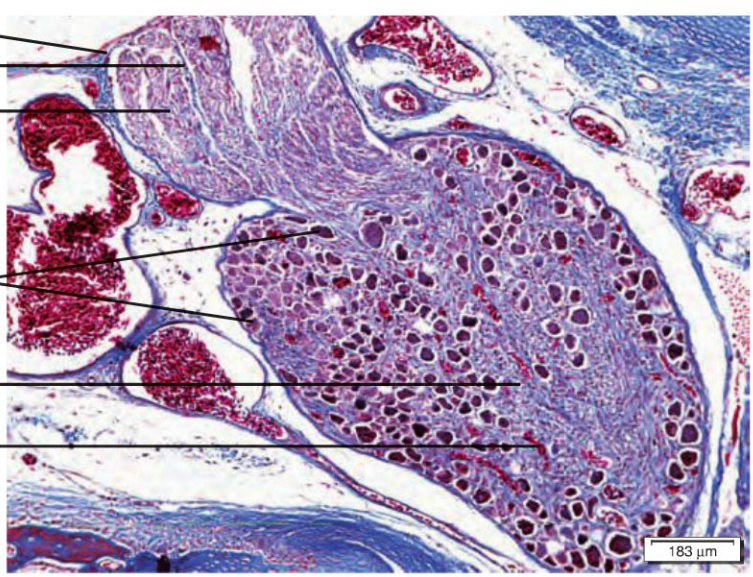


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La conduction et l'intégration dans le système nerveux périphérique des Vertébrés

fiche 67

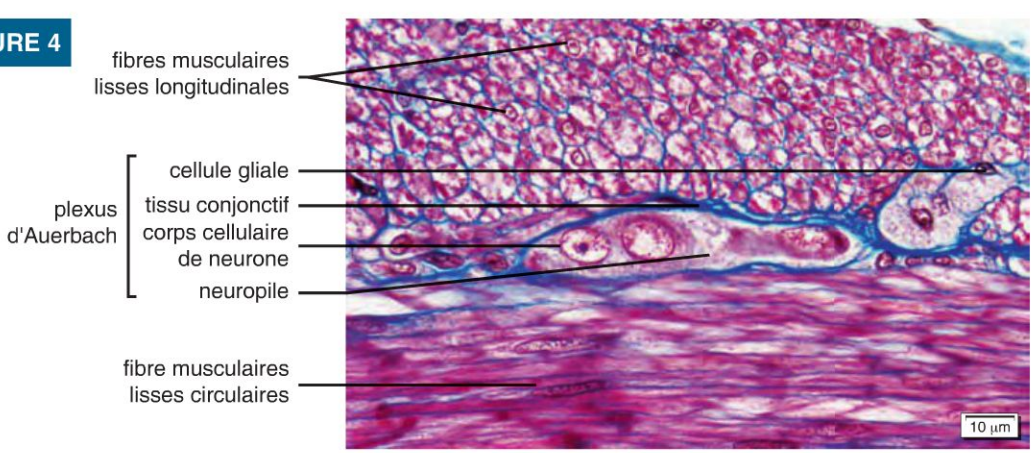
Le système nerveux est formé d'un ensemble de structures sensorielles assurant la réception de stimulations externes ou internes, d'un dispositif de câblage représenté par des nerfs permettant d'acheminer les informations obtenues vers des centres qui réalisent leur intégration et élaborent des réponses. Elles sont mises en œuvre par des organes effecteurs (muscles, glandes) également connectés aux centres nerveux par l'intermédiaire des nerfs.
Chez les Vertébrés, l'ensemble des centres nerveux, encéphale et moelle épinière, compose le système nerveux central alors que les structures sensorielles, les nerfs ainsi que les ganglions nerveux constituent le système nerveux périphérique, en relation avec leur situation dans l'organisme.

Figures 1. et 2. Les nerfs de la *Souris* : des groupes d'axones conduisant l'information nerveuse (*coupes transversale et longitudinale, microscope photonique*) Les nerfs assurent la connexion entre le système nerveux central et les structures périphériques (récepteurs sensoriels et/ou organes effecteurs). Chez la *Souris* comme chez les autres 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 appelé 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 nommé périnèvre. Des vaisseaux sanguins de diamètres décroissants courent dans l'épinèvre, le périnèvre et l'endonèvre, assurant l'apport des substances nutritives et l'évacuation des déchets.

Figure 3. Le ganglion rachidien du *Poussin* : un relais synaptique périphérique individualisé (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Chez les Vertébrés par exemple le *Poussin*, 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 périphériques. Ils sont représentés par les ganglions rachidiens portés par les racines postérieures de la moelle épinière ainsi que par les ganglions du système nerveux végétatif. Ces structures individualisées du point de vue anatomique contiennent des corps cellulaires entourés de nombreuses petites cellules d'accompagnement et des fibres nerveuses. Les synapses y sont nombreuses.

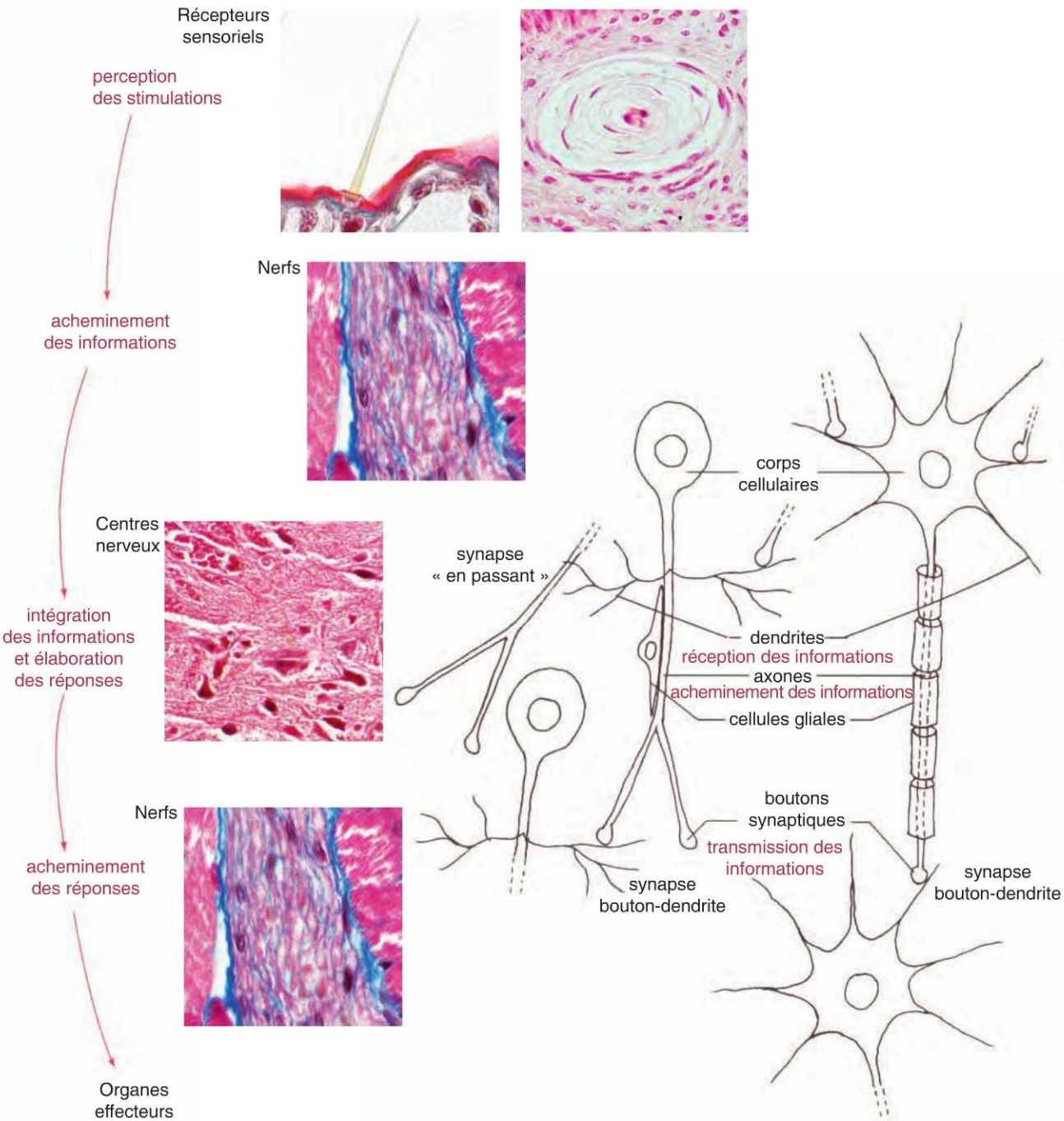
Figure 4. Le plexus d'Auerbach du *Rat* : un relais synaptique périphérique inclus dans un organe (*coupe transversale d'intestin grêle, microscope photonique*) Chez le *Rat* comme chez les autres Vertébrés, le terme plexus désigne une structure nerveuse présente au sein d'un organe et appartenant au système nerveux végétatif. À l'instar des ganglions nerveux, les plexus contiennent des corps cellulaires de neurones ainsi que des fibres nerveuses associés à des cellules gliales, et sont le siège de nombreuses synapses. Ils sont entourés d'une enveloppe de tissu conjonctif.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

4 L'intégration : coordination, systèmes nerveux et endocrinien



Copyright © 2015 Dunod.

La transmission de l'information par voie nerveuse et le système nerveux

fiche 68

Le système nerveux est un dispositif anatomique spécialisé dans la réception, la transmission, l'intégration et l'élaboration d'informations. Il est composé de structures sensorielles assurant la réception de stimulations externes ou internes, de nerfs permettant d'acheminer les informations vers et depuis des centres, qui réalisent leur intégration et élaborent des réponses (fiches 60 à 62, 64 à 67). Elles sont mises en œuvre par des organes effecteurs comme les muscles et les glandes. Du point de vue fonctionnel, un système nerveux végétatif et un système nerveux somatique sont distingués. Le premier contrôle les fonctions végétatives et correspond au système stomatogastrique des Protostomiens et aux systèmes sympathique et parasympathique des Vertébrés innervant les viscères, alors que le second coordonne la vie de relation.

Chez les Métazoaires le système nerveux est un réseau de cellules spécialisées, les neurones. Excitables, elles ont la propriété de transmettre l'information sous forme d'influx nerveux. Ils consistent en des variations du potentiel de membrane appelées potentiels d'action, résultant d'échanges d'ions transmembranaires (entrée d'ions sodium et sortie d'ions potassium) rendus possibles par l'ouverture de canaux ioniques spécifiques. La propagation de l'influx est liée à la sensibilité des canaux ioniques aux variations de potentiel : les échanges ioniques en un point de la cellule modifient le potentiel de membrane, provoquant l'ouverture des canaux ioniques voisins, induisant 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 : la myéline entourant l'axone a des propriétés isolantes et les potentiels d'actions ne peuvent être régénérés par ouverture des canaux sensibles aux potentiels qu'aux points où la gaine de myéline est interrompue. La propagation de l'influx devient saltatoire et en conséquence sa vitesse augmente.
La transmission de l'influx d'une cellule à une autre, qu'il s'agisse de neurones, de récepteurs sensoriels ou de cellules effectrices, est réalisée par l'intermédiaire de synapses. Entre deux neurones, elles sont le plus souvent établies entre l'axone ou le bouton synaptique de l'axone de la cellule présynaptique et les dendrites ou le corps cellulaire de la cellule postsynaptique. L'arrivée du potentiel d'action au niveau de la membrane présynaptique induit la libération d'une substance chimique, appelée neurotransmetteur ou neuromédiateur. Elle se fixe sur des récepteurs de la membrane postsynaptique et y provoque l'ouverture de canaux ioniques et la genèse d'un nouveau potentiel d'action. Ce type de synapse est qualifié de chimique. Des synapses dites électriques existent également, dans lesquelles la transmission est réalisée par action directe du potentiel présynaptique sur la membrane postsynaptique. Un neurone recevant de multiples synapses est capable d'en effectuer la sommation et l'intégration, élaborant ensuite une réponse sous forme d'un nouveau potentiel d'action.

Le système nerveux présente une relative diversité au sein des groupes : son organisation est en général liée au mode de vie et à l'activité de l'organisme ainsi qu'à sa complexité et sa taille. 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 proches mobiles et actifs, comme la *Néréis* ou la *Seiche* respectivement (fiches 7, 10).
Le système nerveux des Vertébrés présente quelques caractéristiques qui le distinguent de celui des autres animaux. Ses neurones possèdent le plus souvent des dendrites insérées directement sur le corps cellulaire alors qu'elles peuvent être portées par les axones chez les autres Métazoaires. Corrélativement, la substance blanche est périphérique et la substance grise centrale dans la moelle épinière tandis que les corps cellulaires sont périphériques et le neuropile central dans les centres nerveux des Protostomiens (fiches 64 à 66). Si dans les deux cas des cellules gliales sont présentes, les gaines de myéline sont l'apanage des Vertébrés, formées par les cellules de Schwann ou les oligodendrocytes (fiches 66, 67). À l'inverse, les fibres nerveuses géantes à conduction rapide ne sont présentes que chez les Protostomiens (fiches 64, 65). La plupart des synapses rencontrées chez les Vertébrés sont chimiques et unidirectionnelles. Chez les autres Métazoaires, elles sont plus diversifiées, de type électrique ou chimique « en passant » (impliquant un axone et une dendrite), parfois bidirectionnelles.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

FIGURE 2

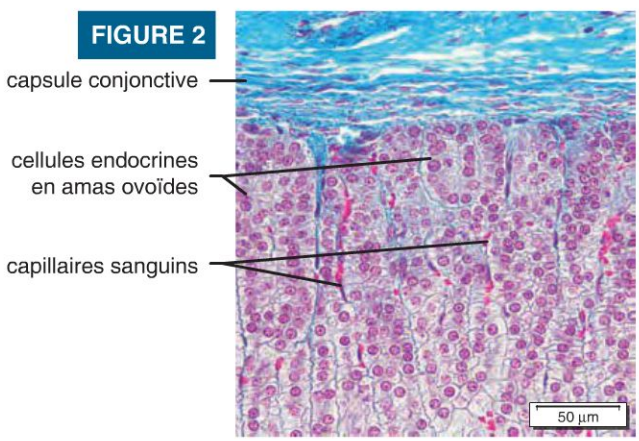


FIGURE 3

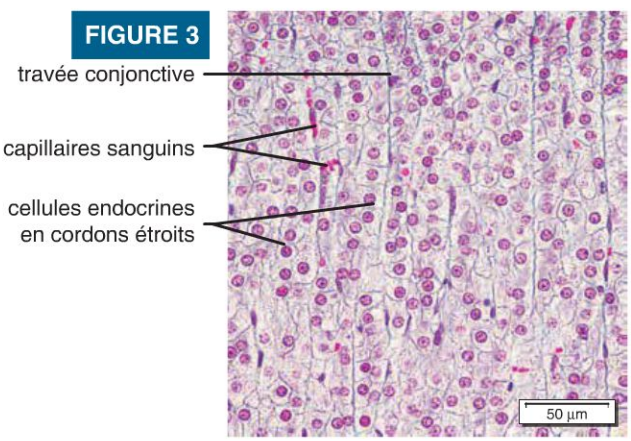


FIGURE 4

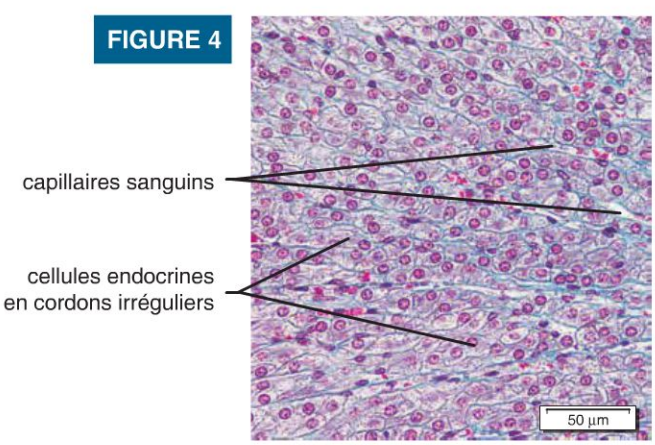
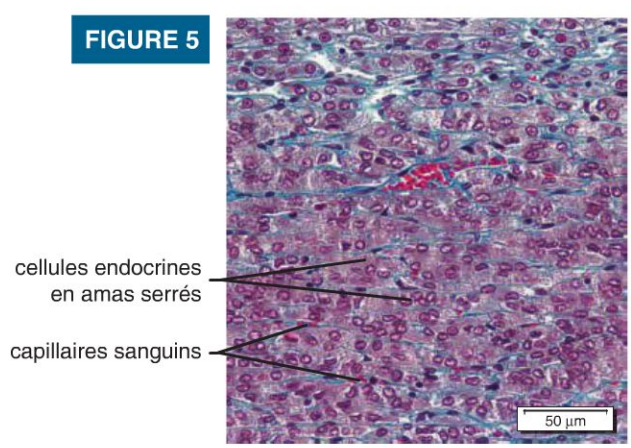


FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

Les interactions hormonales et les glandes endocrines des Mammifères

fiche 69

Les divers organes, appareils et systèmes constituant les animaux sont interdépendants et leurs fonctionnements sont coordonnés. Les interactions entre les composants des organismes, qui assurent en particulier le contrôle de leurs activités, relèvent des fonctions d'intégration. Elles sont le fait des systèmes nerveux et endocrinien, ainsi que des appareils circulatoires.
Le système endocrinien est le support anatomique de l'émission d'informations sous forme de molécules transmises par les liquides circulants, appelées hormones.

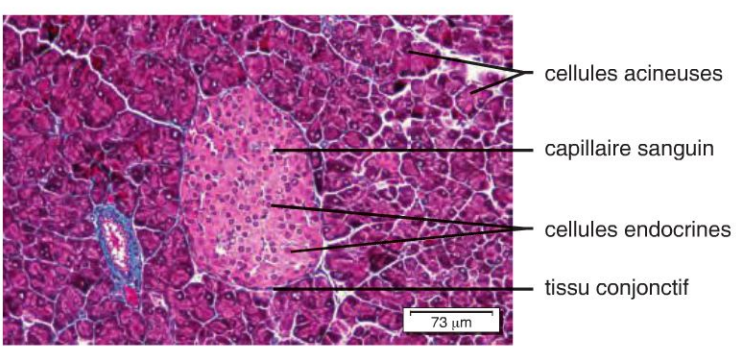
Figure 1. La glande surrénale du *Lapin* : une glande endocrine anatomiquement individualisée et composite (*coupe transversale, stéréomicroscope*) Les glandes surrénales des Mammifères sont situées au-dessus des reins sans y être reliées. Entourées d'une capsule conjonctive et richement irriguées, elles sont formées d'une région périphérique, la glande corticosurrénale, et d'une région centrale, la glande médullosurrénale.
La glande corticosurrénale élabore des hormones stéroïdes qualifiées de corticoïdes, alors que la glande médullosurrénale produit des catécholamines.

Figures 2., 3. et 4. La glande corticosurrénale du *Lapin* : des cellules diversement agencées produisant des hormones minéralocorticoïdes et glucocorticoïdes (*coupes transversales des zones glomérulée, fasciculée et réticulée, microscope photonique*) La glande corticosurrénale des Mammifères est formée de trois régions. La zone périphérique, qualifiée de glomérulée, est caractérisée par un agencement des cellules en amas ovoïdes. La zone moyenne, dite fasciculée, est constituée de cellules organisées en cordons étroits. La zone interne, réticulée, comporte des cellules formant des amas et cordons irréguliers.
Quelle que soit leur localisation, les cellules endocrines de la glande corticosurrénale contiennent des gouttelettes lipidiques cytoplasmiques. Elles produisent principalement de l'aldostérone (hormone minéralocorticoïde) et du cortisol (hormone glucocorticoïde) agissant respectivement sur la réabsorption des ions sodium par le rein et le métabolisme des glucides.

Figure 5. La glande médullosurrénale du *Lapin* : des cellules organisées en cordons produisant des catécholamines (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez les Mammifères, la glande médullosurrénale est formée d'amas serrés de cellules. Elles synthétisent des catécholamines, adrénaline et noradrénaline, qu'elles déversent dans le flux sanguin en réponse à une stimulation nerveuse. Ces hormones agissent sur de nombreux effecteurs (cœur, vaisseaux sanguins, muscles lisses des appareils digestif, respiratoire, excréteur) et assurent la mobilisation de l'organisme dans une situation de détresse.

Figure 6. Le pancréas endocrine du *Rat* : des îlots de Langerhans dispersés produisant de l'insuline et du glucagon (*coupe transversale, microscope photonique*) Le pancréas est une glande exocrine responsable de la production de nombreuses enzymes digestives. Parmi les unités sécrétrices acineuses du pancréas exocrine sont dispersés des amas de cellules étroitement associés à l'appareil circulatoire et délimités par une fine capsule conjonctive. Ils correspondent aux îlots de Langerhans. Leurs cellules sont agencées en cordons et réalisent la synthèse de diverses hormones (insuline, glucagon, somatostatine) qu'elles déversent dans le flux sanguin. L'insuline possède une activité hypoglycémiante antagoniste de celle du glucagon, hyperglycémiant. Ils agissent sur les cellules hépatiques, musculaires et adipeuses où ils provoquent respectivement l'incorporation et la libération de glucose. La somatostatine agit quant à elle sur le contrôle de la fonction digestive.

FIGURE 6



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

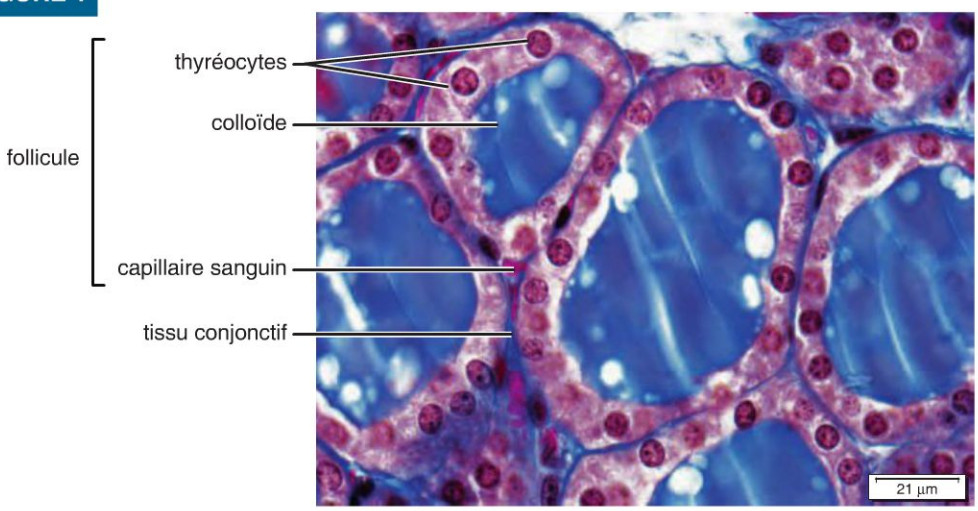


FIGURE 2

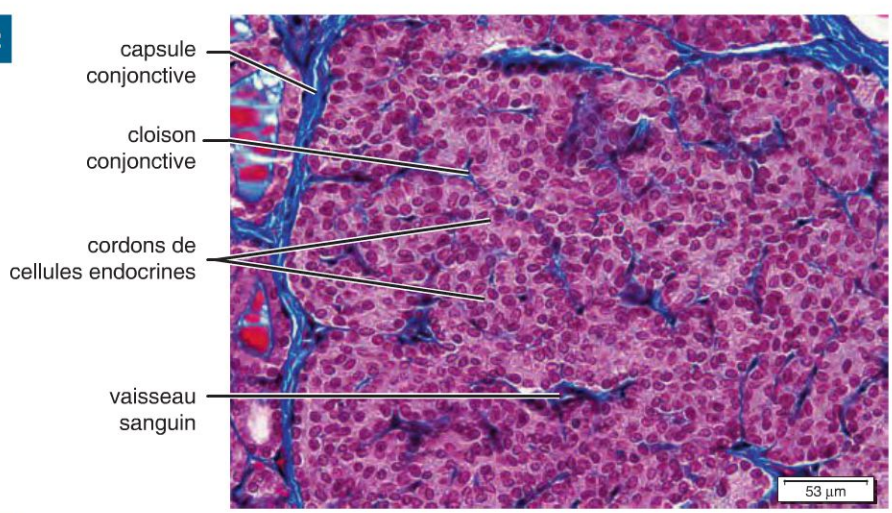
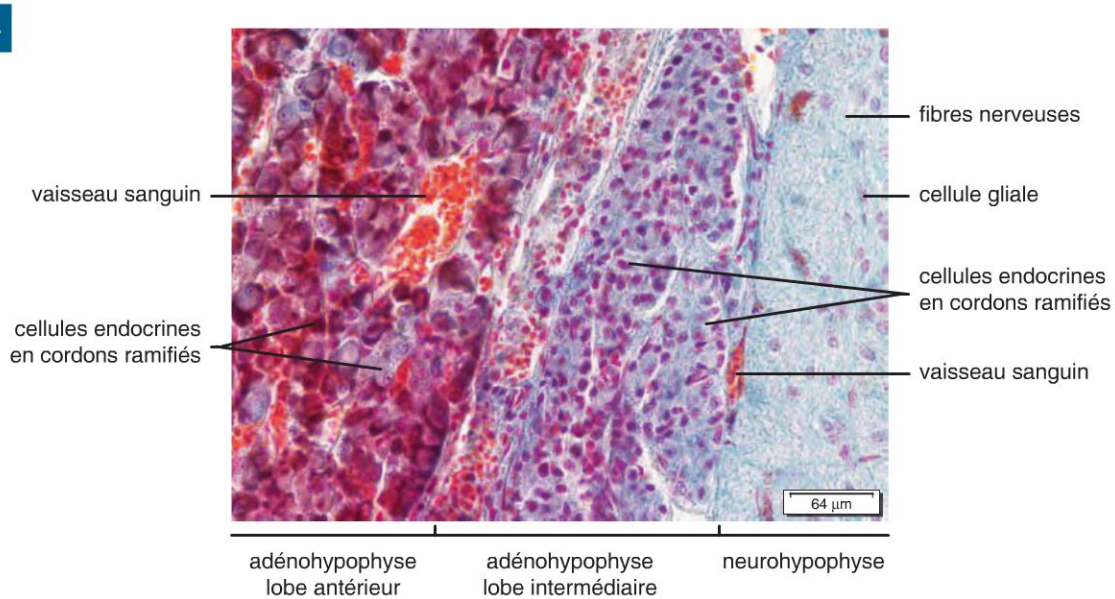


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Les interactions hormonales et les glandes endocrines des Mammifères

fiche 70

Le fonctionnement harmonieux de l'organisme animal implique la coordination des activités des organes, appareils et systèmes qui le constituent. Composante des fonctions d'intégration, elle est en particulier sous-tendue par le système endocrinien.

Figure 1. La glande thyroïde de la *Souris* : une glande anatomiquement individualisée formée de follicules (*coupe transversale, microscope photonique*) La glande thyroïde des Mammifères est située à proximité de la trachée (fiche 43). Elle est formée de follicules sphériques contenant un produit de sécrétion, le colloïde, et bordés d'un épithélium simple et cubique. Elle est parcourue par un réseau de capillaires sanguins. Les thyréocytes synthétisent une protéine iodée, la thyréoglobuline, à partir de précurseurs prélevés dans le sang. Ils la sécrètent dans la cavité des follicules, avant de la réabsorber et la lyser, libérant ainsi deux composés, la triiodothyronine et la tétraiodothyronine, dans le flux sanguin. Ces hormones agissent sur des cellules cibles très diverses (neurones, ostéoblastes, myocytes, hépatocytes, etc.), stimulant d'une part la croissance et d'autre part le métabolisme. Leur sécrétion est contrôlée par la thyréotropine hypophysaire. Des cellules dites claires localisées entre les follicules produisent une hormone hypocalcémiante, la calcitonine.

Figure 2. La glande parathyroïde de la *Souris* : une glande anatomiquement individualisée produisant une hormone hypercalcémiante (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez les Mammifères, la glande parathyroïde est une petite formation ovale paire, localisée sur le bord externe de la glande thyroïde. Enveloppée d'une capsule conjonctive, elle est richement irriguée. Elle est formée de cordons de cellules, qualifiées de principales et responsables de la production et de la libération de parathormone, hypercalcémiante.

Figure 3. L'hypophyse des Mammifères : une structure anatomiquement individualisée, glande endocrine et organe neuro-hémal (*coupe longitudinale, microscope photonique*) L'hypophyse des Mammifères est une glande localisée à la base du diencéphale et formée de deux régions accolées. À l'avant est située l'adénohypophyse, constituée d'un lobe antérieur et d'un lobe intermédiaire composés de cellules endocrines. À l'arrière, est localisée la neuro-hypophyse comportant des prolongements de neurones sécréteurs d'hormones, organisation caractéristique d'un organe neuro-hémal.

FIGURE 3

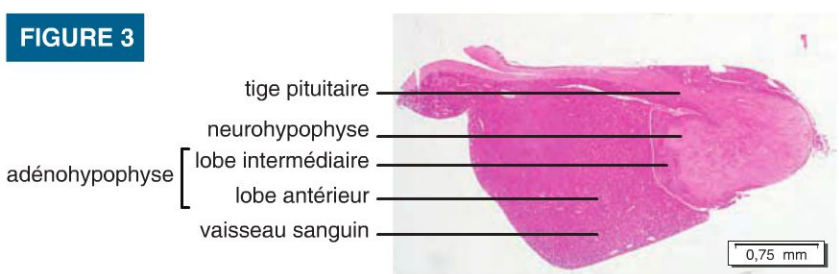
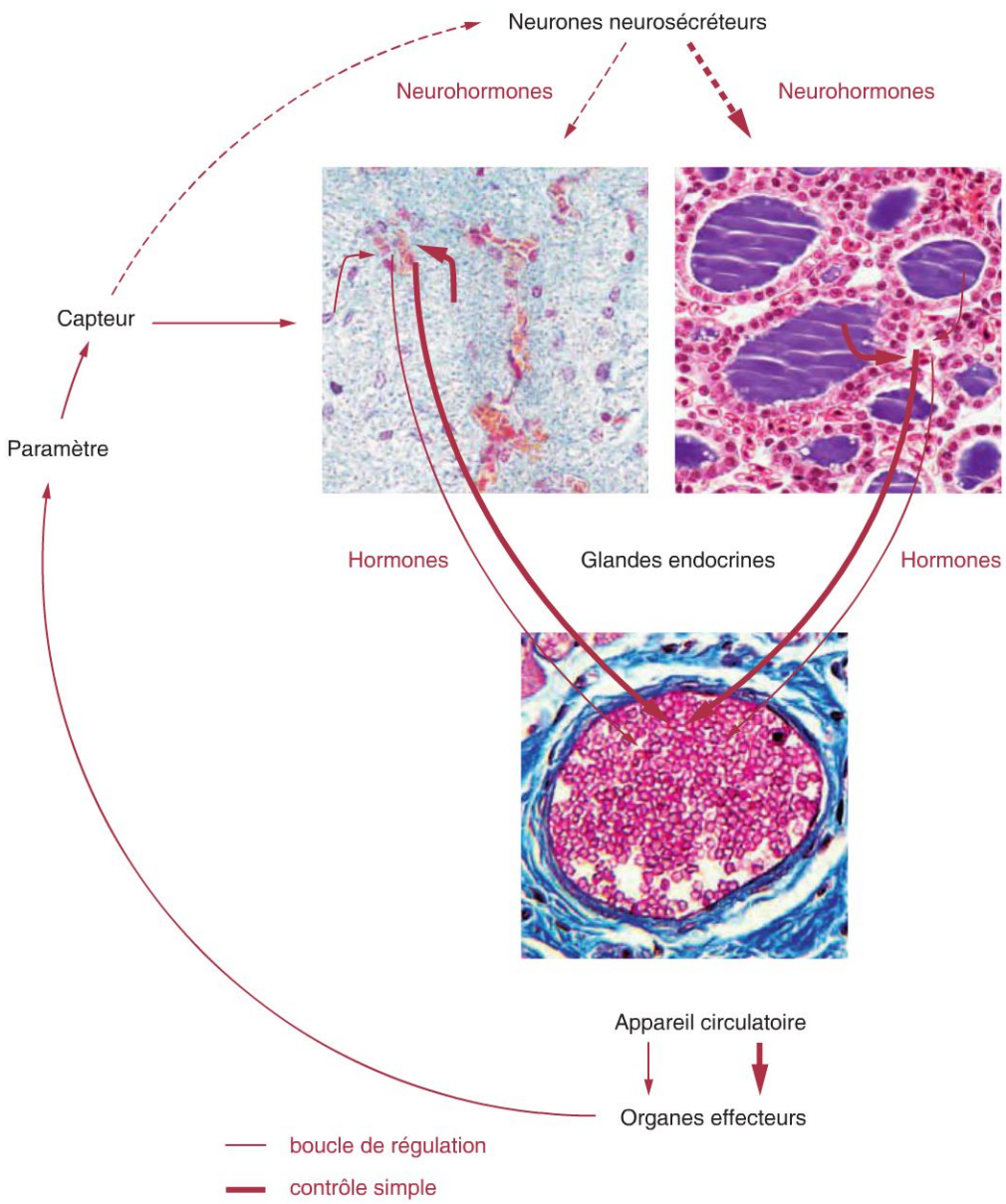


Figure 4. L'hypophyse des Mammifères : une connexion entre les systèmes endocrinien et nerveux (*coupe longitudinale, microscope photonique*) L'adénohypophyse des Mammifères est constituée de cellules organisées en cordons ramifiés étroitement associés à de nombreux capillaires sanguins. Les cellules adénohypophysaires élaborent diverses hormones (corticotropine ou ACTH, thyréotropine ou TSH, gonadotropines comme l'hormone folliculostimulante ou FSH et l'hormone lutéostimulante ou LH, hormone de croissance, prolactine, hormone mélanotrope) qu'elles libèrent dans le flux sanguin. Parmi elles, certaines affectent l'activité d'autres glandes endocrines, elles sont appelées tropines ou stimulines. D'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, thyréolibérine ou TRF, gonadolibérine ou GnRF, par exemple).

La neurohypophyse est constituée de terminaisons nerveuses, d'axones et de cellules gliales. Riche en capillaires sanguins, elle est le site de la libération dans le sang des produits élaborés par des neurones hypothalamiques, stockés dans leurs terminaisons. Ce sont l'hormone antidiurétique (ADH) et l'ocytocine qui agissent respectivement sur le rein et les organes de la reproduction (utérus, glande mammaire).

Copyright © 2015 Dunod.



Copyright © 2015 Dunod.

La transmission de l'information par voie hormonale et le système endocrinien

fiche 71

Le système endocrinien des animaux est constitué de cellules sécrétrices libérant leurs produits dans le milieu intérieur, hémolymphe ou sang. Elles sont de ce fait qualifiées d'endocrines. Elles peuvent être dispersées dans l'organisme comme les cellules endocrines du tube digestif des Vertébrés, constituer des amas et être associées à des structures glandulaires exocrines, ou former des organes individualisés (fiches 69, 70).
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 ainsi 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, hormones minéralocorticoïdes et 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 sa transcription.
Les hormones constituent donc de véritables messagers chimiques : émis et codés 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 l'absorption de glucose par les cellules cibles de l'insuline). Corrélativement, la substance hormonale n'est plus libérée.
Très fréquemment, ces processus de régulation sont compliqués par l'intervention du système nerveux, exerçant un contrôle sur les cellules endocrines, qui ne sont plus directement sensibles au paramètre qu'elles contribuent à réguler. Les systèmes endocriniens et nerveux sont loin d'être indépendants l'un de l'autre, que ce soit chez les Vertébrés ou chez les autres Métazoaires. En particulier, les substances élaborées par certains neurones, dits neurosécréteurs, sont libérées dans les liquides circulants, ce sont les neurohormones (hormone prothoracicotrope, facteurs de décharge hypothalamiques, hormone antidiurétique, ocytocine). Elles peuvent être temporairement stockées dans des organes qualifiés de neurohémaux (fiche 70). Des corrélations neuroendocrines sont ainsi établies, 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.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

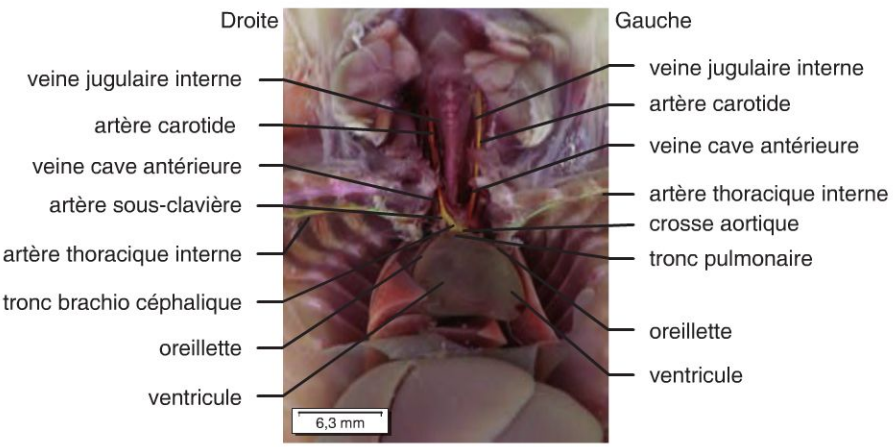


FIGURE 2

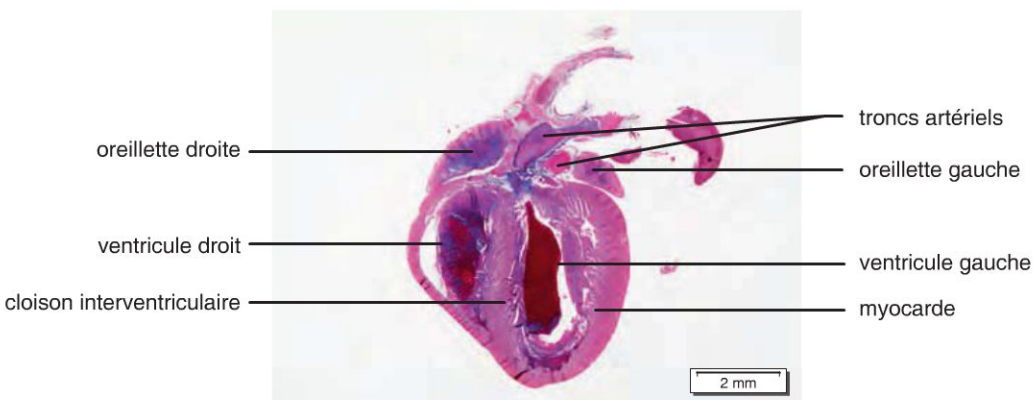


FIGURE 3

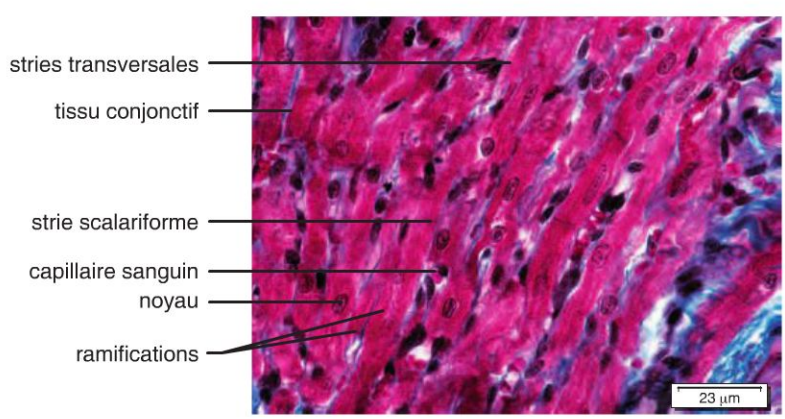
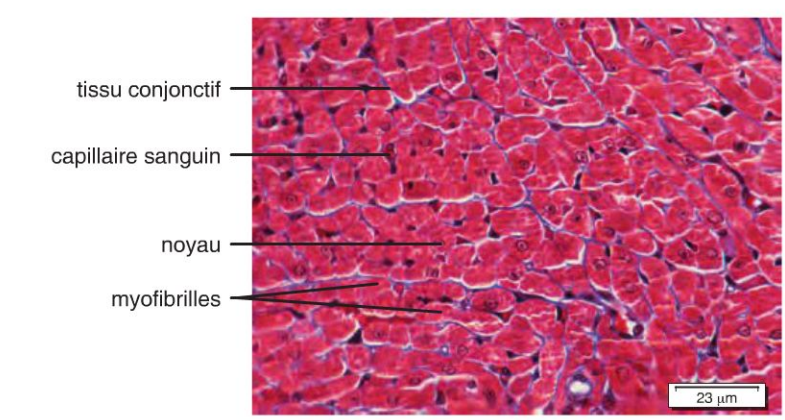


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

La mise en mouvement du sang et le cœur des Mammifères

fiche 72

De multiples échanges, de matière comme d'énergie, se déroulent entre les organes de l'organisme animal. Ils mettent le plus souvent en jeu 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 ainsi que de leur distribution.

Figure 1. L'appareil circulatoire de la *Souris* : un appareil clos, support anatomique d'une double circulation (*vue ventrale de la région thoracique après injection d'un liquide jaune dans le ventricule gauche*) Chez les Vertébrés, l'appareil circulatoire est composé d'un réseau de vaisseaux sanguins dans lequel le sang circule, et d'un cœur responsable de sa propulsion. Le sang étant endigué sur l'ensemble de son parcours, l'appareil circulatoire est qualifié de clos.
La *Souris*, à l'instar des autres Mammifères, possède un cœur comportant quatre cavités : une oreillette gauche communiquant avec un ventricule gauche, et une oreillette droite en relation avec un ventricule droit. Chez l'adulte, il n'existe pas de communication entre les cavités gauche et droite du cœur. L'oreillette gauche reçoit le sang hématosé provenant des poumons, par l'intermédiaire des veines pulmonaires gauche et droite. Il passe ensuite dans le ventricule gauche dont les contractions le propulsent dans le tronc aortique. Formant une courbe appelée crosse, l'artère aorte court à gauche du cœur, puis chemine dorsalement vers la région postérieure du corps. Sur son parcours, diverses artères se détachent : le tronc brachiocéphalique à droite, à l'origine des artères carotide et sous-clavière droites irriguant respectivement la partie droite de la tête et le membre antérieur droit, puis l'artère carotide gauche et l'artère sous-clavière gauche dont les fonctions sont symétriques. Les ramifications successives de l'artère aorte permettent la perfusion des organes par l'intermédiaire des capillaires sanguins. Le sang non hématosé est repris par des veines convergeant jusqu'à former les veines caves antérieures et postérieure qui débouchent dans l'oreillette droite. Il atteint alors le ventricule droit qui le propulse dans le tronc pulmonaire, situé ventralement et orienté vers l'avant. Le tronc pulmonaire est rapidement divisé en deux artères pulmonaires droite et gauche, irriguant respectivement les poumons droit et gauche, au sein desquels le sang est hématosé. Le sang parcourt ainsi deux circuits, systémique entre le ventricule gauche et l'oreillette droite d'une part, pulmonaire entre le ventricule droit et l'oreillette gauche, d'autre part. La circulation est en conséquence qualifiée de double.

Figure 2. Le cœur du *Rat* : un organe cloisonné réalisant une double propulsion du sang (*coupe longitudinale, stéréomicroscope*) Chez les Mammifères comme le *Rat*, le cœur est 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. Des valvules sont présentes entre oreillette et ventricule, ainsi qu'entre les ventricules et les troncs artériels, permettant d'orienter le flux sanguin. La paroi du ventricule gauche est plus épaisse que celle du ventricule droit, la puissance de ses contractions est également plus importante. Le cloisonnement complet du cœur en deux régions, gauche et droite, permet la mise en place de la double circulation.

Figures 3. et 4. Le myocarde du *Rat* : des myocytes striés formant un réseau contractile (*coupes longitudinale et transversale, microscope photonique*) Chez le *Rat* comme chez les autres Vertébrés, le cœur est emballé dans un péricarde. La paroi cardiaque est formée d'un épithélium simple et pavimenteux au contact du sang, l'endothélium, et de fibres musculaires. Elles sont particulièrement développées au niveau des ventricules. Striées, elles présentent des ramifications et sont reliées les unes aux autres par des complexes de jonctions appelés stries scalariformes. Le tissu conjonctif qui les entoure est très riche en vaisseaux sanguins.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

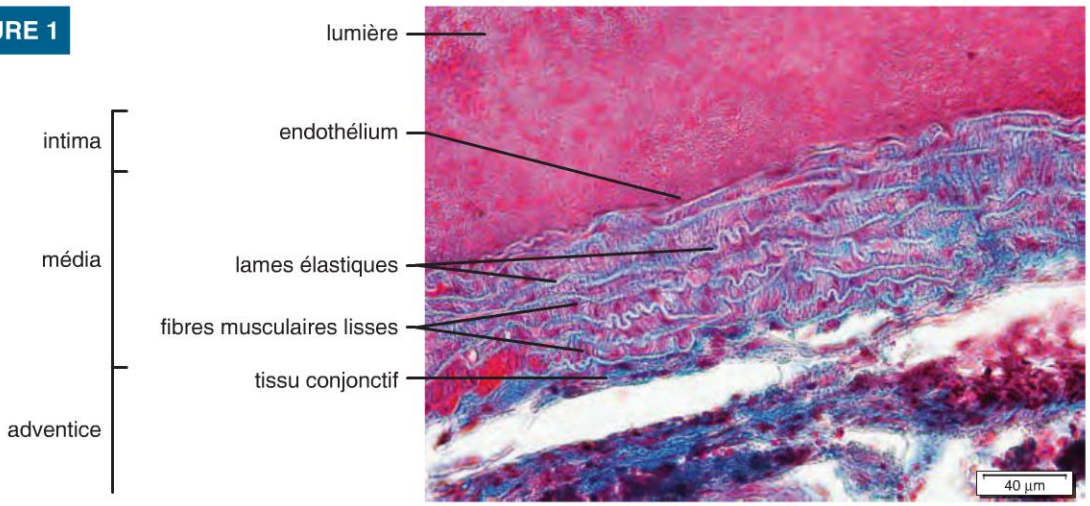


FIGURE 2

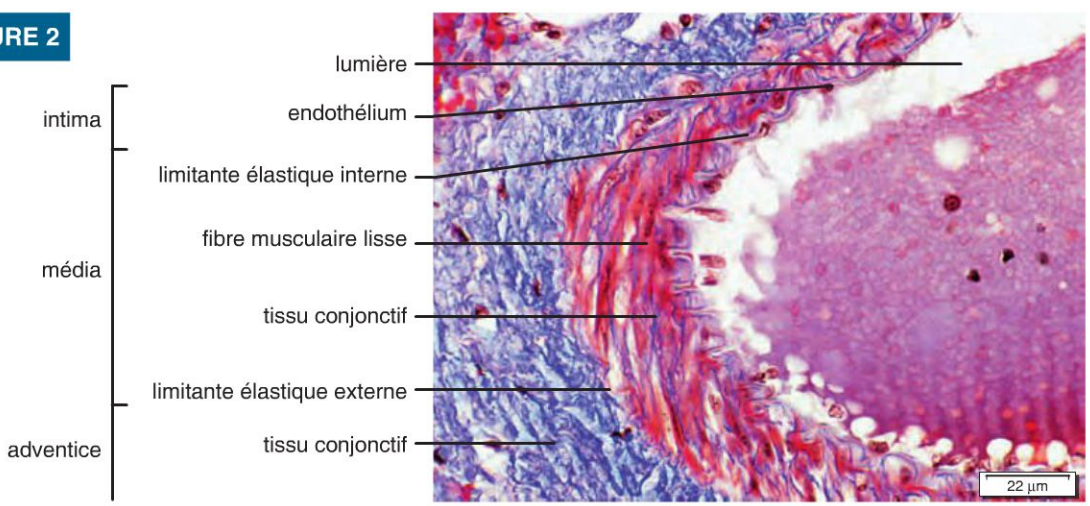
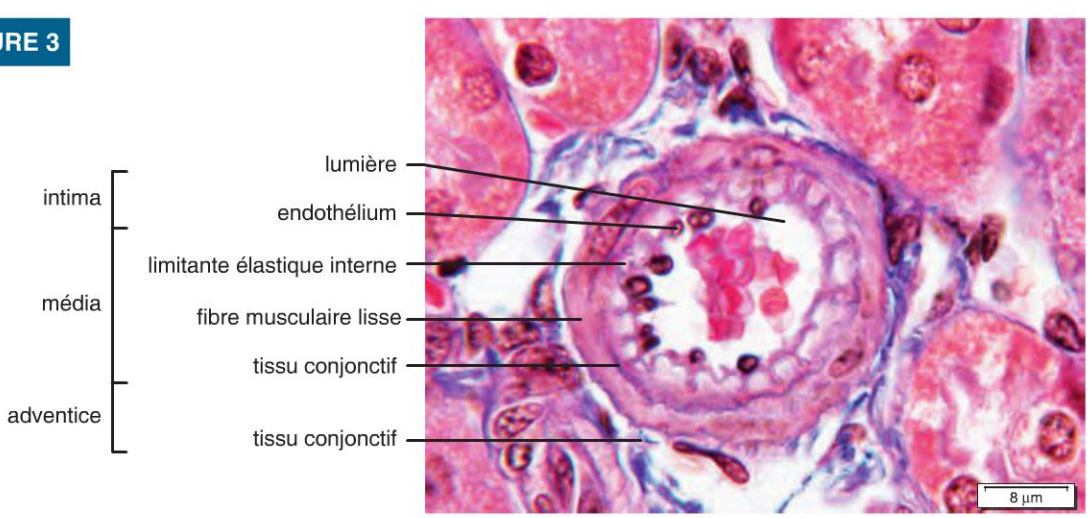


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La distribution du sang par les vaisseaux sanguins, du cœur aux organes chez les Vertébrés

fiche 73

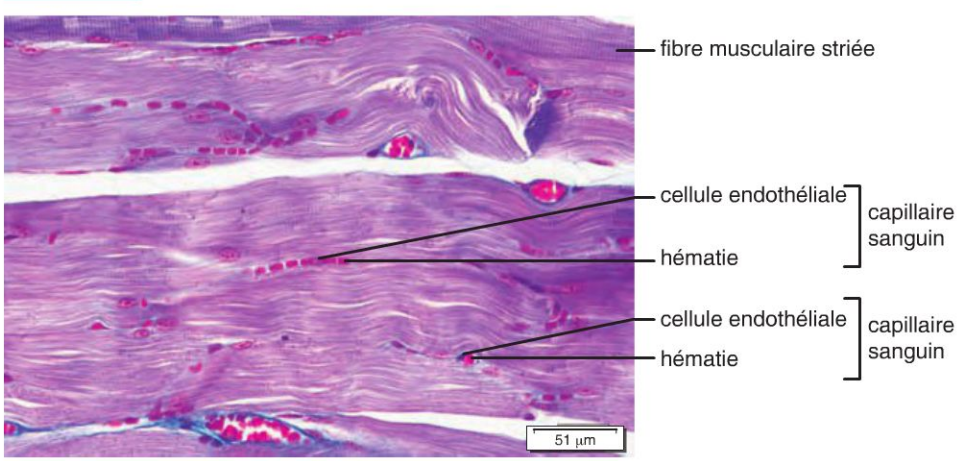
L'appareil circulatoire permet la répartition des liquides circulants dans l'organisme, véhiculant des substances nutritives, des gaz respiratoires et des déchets ainsi que des molécules informatives comme les hormones. Chez les Vertébrés, le liquide circule tout au long de son trajet au sein de conduits, les vaisseaux sanguins. L'appareil circulatoire est clos, et le liquide circulant est appelé sang. Le cœur joue le rôle d'organe propulseur, mettant en mouvement le sang (fiche 72).

Figure 1. L'artère élastique du *Rat* : une artère de distribution libre (*coupe longitudinale de cœur, microscope photonique*) À la 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 élastiques formées d'élastine et de fibres musculaires lisses. Enfin, une troisième tunique, externe, enveloppe l'artère, l'adventice. 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. Responsables de l'acheminement du sang dans les grandes régions du corps, elles sont dites artères de distribution. Courant hors des organes, les artères élastiques sont qualifiées de libres.

Figures 2. et 3. L'artère musculaire et l'artériole du rein de la *Souris* : des artères d'irrigation libres aux artères d'irrigation intratissulaires (*coupe transversale de rein, microscope photonique*) Les artères élastiques se ramifient en artères de calibres plus faibles, qualifiées de musculaires. Leur paroi est constituée d'une intima, réduite à l'endothélium pour les plus petites, d'une média et d'une adventice. La média est pauvre en fibres élastiques mais les fibres musculaires lisses y sont abondantes. Elle est séparée de l'intima par une limitante élastique interne et de l'adventice par une limitante élastique externe, qui disparaît pour les artères de petite taille. 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 elles courent. Grâce aux fibres musculaires de la média, le diamètre de ces vaisseaux peut être modulé et le débit sanguin contrôlé. Acheminant le sang dans les organes, les artères musculaires sont dites artères d'irrigation. Libres à leur origine, elles pénètrent et se ramifient dans les tissus.

Figure 4. Le capillaire sanguin du muscle de la *Souris* : un vaisseau de perfusion des organes (*coupe longitudinale de muscle squelettique, microscope photonique*) À l'issue de son acheminement dans les artères musculaires et les artérioles, le sang traverse un réseau de vaisseaux de très faible diamètre, les capillaires sanguins. 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. Le diamètre de ces vaisseaux est généralement inférieur à celui des hématies, qui se déforment lorsqu'elles y circulent. De manière générale, les capillaires sanguins sont continus, cependant au sein des organes où les échanges avec le compartiment sanguin sont importants comme l'intestin, le rein ou les glandes endocrines, les cellules endothéliales présentent des pores et les capillaires sanguins sont dits fenêtrés. Dans certains organes comme le foie, les capillaires sanguins présentent une paroi discontinue.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

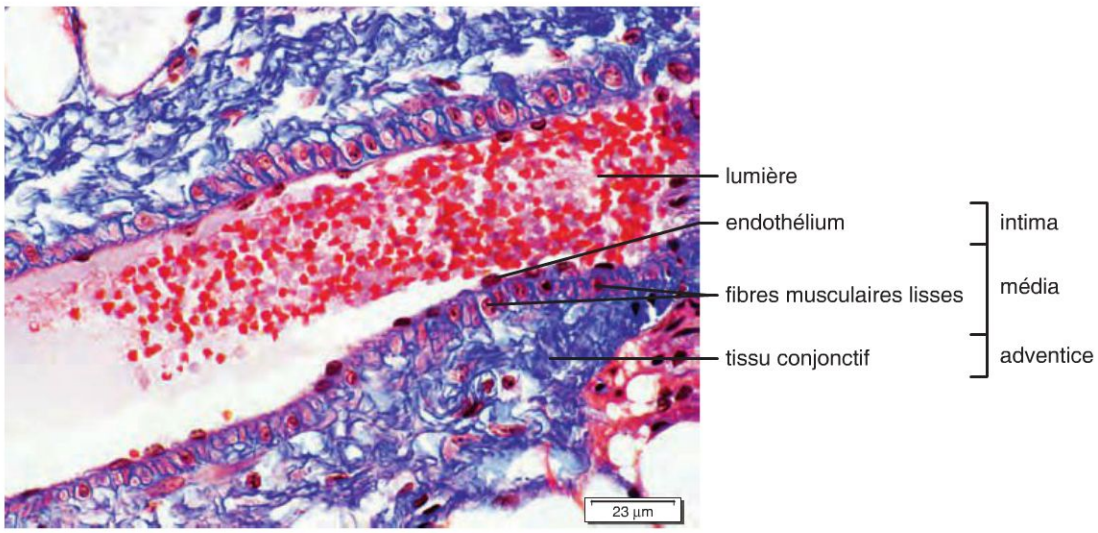


FIGURE 2

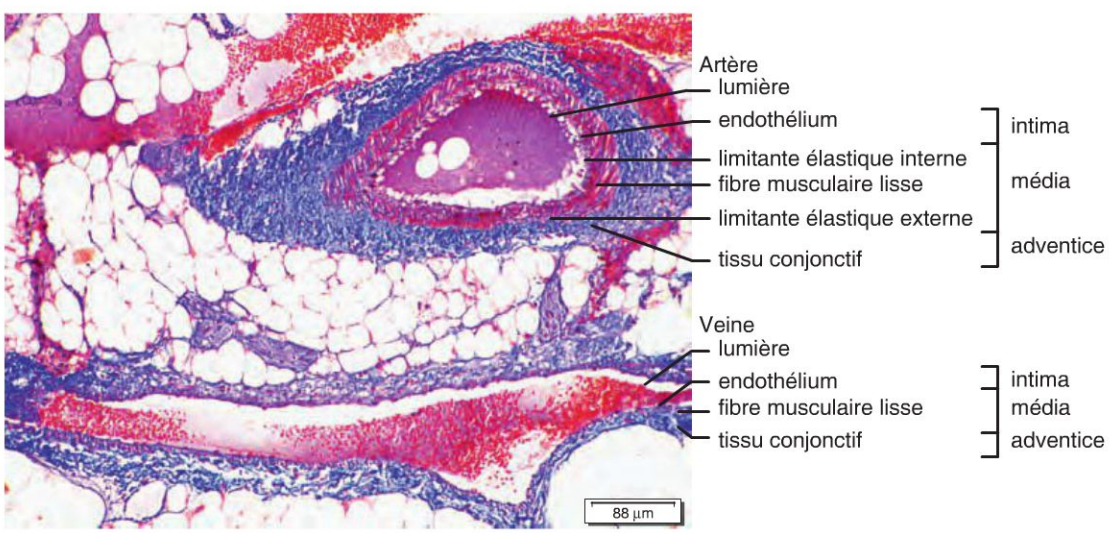
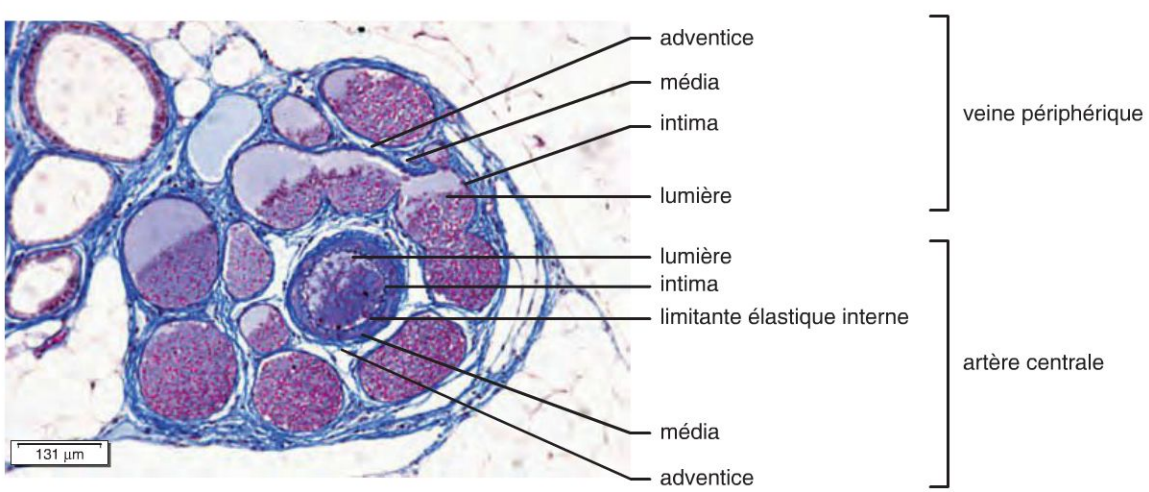


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La distribution du sang par les vaisseaux sanguins, des organes au cœur chez les Vertébrés

fiche 74

L'appareil circulatoire des Vertébrés est composé d'un cœur, organe responsable de la propulsion du sang, et d'un ensemble de vaisseaux sanguins impliqués dans l'acheminement du sang dans l'organisme (fiche 72). Les vaisseaux sanguins prenant naissance au niveau des ventricules du cœur sont par définition des artères, alors que ceux qui débouchent dans les oreillettes sont des veines. Entre le réseau artériel et le réseau veineux sont intercalés des capillaires sanguins, vaisseaux de faible diamètre (fiche 73).

Figure 1. La veine du rein de la *Souris* : un vaisseau de drainage du sang (*coupe transversale de rein, microscope photonique*) Après son transit dans les capillaires sanguins, le sang est pris en charge par des veinules. Leur paroi est formée d'une intima représentée par l'endothélium, d'une média comportant deux assises de fibres musculaires lisses et d'une adventice en continuité avec le tissu conjonctif environnant. Elles débouchent dans des veines de diamètres croissants, dont la paroi a une organisation similaire.
Les veines de gros diamètre et libres, qui ramènent le sang aux oreillettes du cœur, sont quant à elles caractérisées par une média plus développée au sein de laquelle alternent les fibres musculaires et les fibres de collagène, en association avec quelques fibres élastiques. L'adventice, très développée, est parcourue de vasa vasorum.

Figure 2. L'artère et la veine du rein de la *Souris* : des vaisseaux parallèles assurant l'apport et le retour du sang entre cœur et organes (*coupe transversale de rein, microscope photonique*) Dans la circulation systémique, de manière générale le sang hématosé est amené à un organe par une artère et est repris par une ou deux veines. À diamètre égal, la paroi des vaisseaux artériels est plus épaisse que celle des vaisseaux veineux. Parallèlement, la média est la tunique la plus épaisse des premiers alors que pour les seconds, il s'agit de l'adventice.
Un dispositif vasculaire supplémentaire s'ajoute aux vaisseaux sanguins chez les Vertébrés : l'appareil lymphatique. Il est composé de vaisseaux dont la paroi est semblable à celle des veines de diamètre équivalent. Il draine l'excès de liquide interstitiel qu'il achemine vers l'appareil circulatoire.

Figure 3. Le système à contre-courant du scrotum de la *Souris* : un agencement des artères et des veines favorable aux échanges de chaleur (*coupe transversale de scrotum, microscope photonique*) Chez les Mammifères mâles, au sein du sac scrotal, les artères de petit calibre sont entourées sur leur trajet par des veines de calibre équivalent.
Une telle 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 plus élevée. Le sang drainé par les veines est pour sa part à la température des testicules. Lorsque les deux types de vaisseaux cheminent parallèlement, des échanges thermiques se produisent entre sang artériel et sang veineux, permettant le refroidissement du sang artériel et le réchauffement du sang veineux. Les sangs circulant en sens inverse l'un de l'autre, les échanges de chaleur s'en trouvent augmentés.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

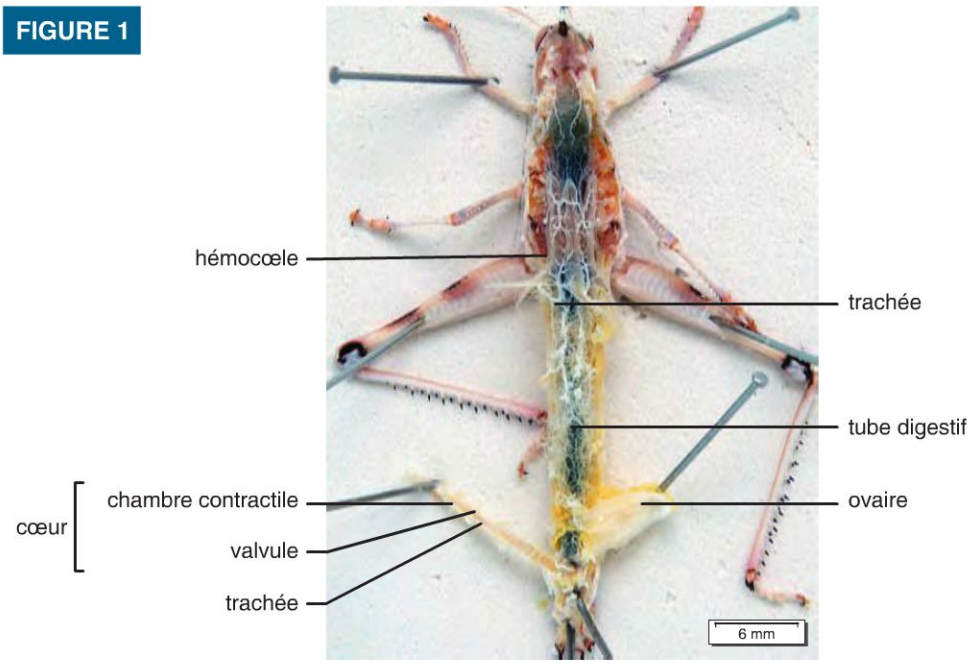


FIGURE 2

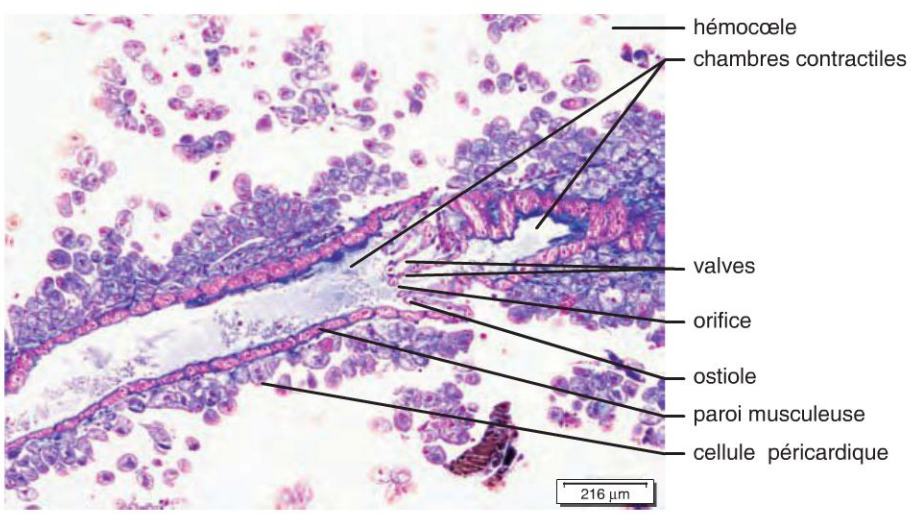
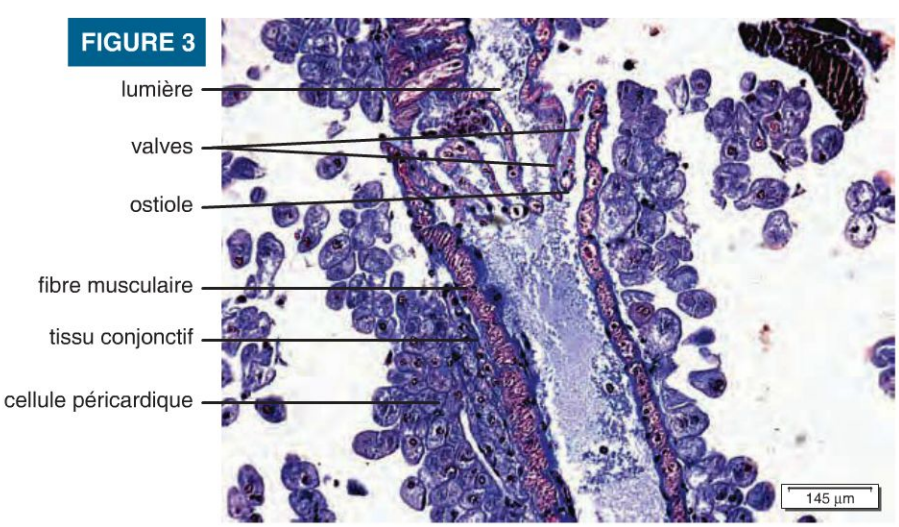


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La propulsion et la distribution de l'hémolymphe par le cœur et les vaisseaux chez les Insectes

fiche 75

Dans l'organisme animal, les liquides extracellulaires assurent le transfert des substances nutritives, des gaz respiratoires et des déchets, ainsi que des hormones. Leur mise en mouvement permet le développement d'un flux de masse. Le dispositif anatomique responsable de cette circulation est l'appareil circulatoire.
Si le sang est endigué sur la totalité de son trajet chez les Vertébrés, chez les Insectes le liquide circulant transite par des vaisseaux et par la cavité générale sur laquelle ils débouchent. L'appareil circulatoire est alors qualifié d'ouvert et le liquide circulant désigné par le terme hémolymphe.

Figure 1. Le cœur du *Criquet* : un organe abdominal dorsal formé de chambres contractiles propulsant l'hémolymphe (*vue dorsale*) Le cœur des Insectes comme le *Criquet* est situé en position dorsale dans l'abdomen, et s'étend parfois jusqu'au thorax. Logé dans un sinus appelé péricarde, il est représenté par un tube formé de renflements successifs séparés par des régions étroites. De chaque côté court un tronc trachéen.

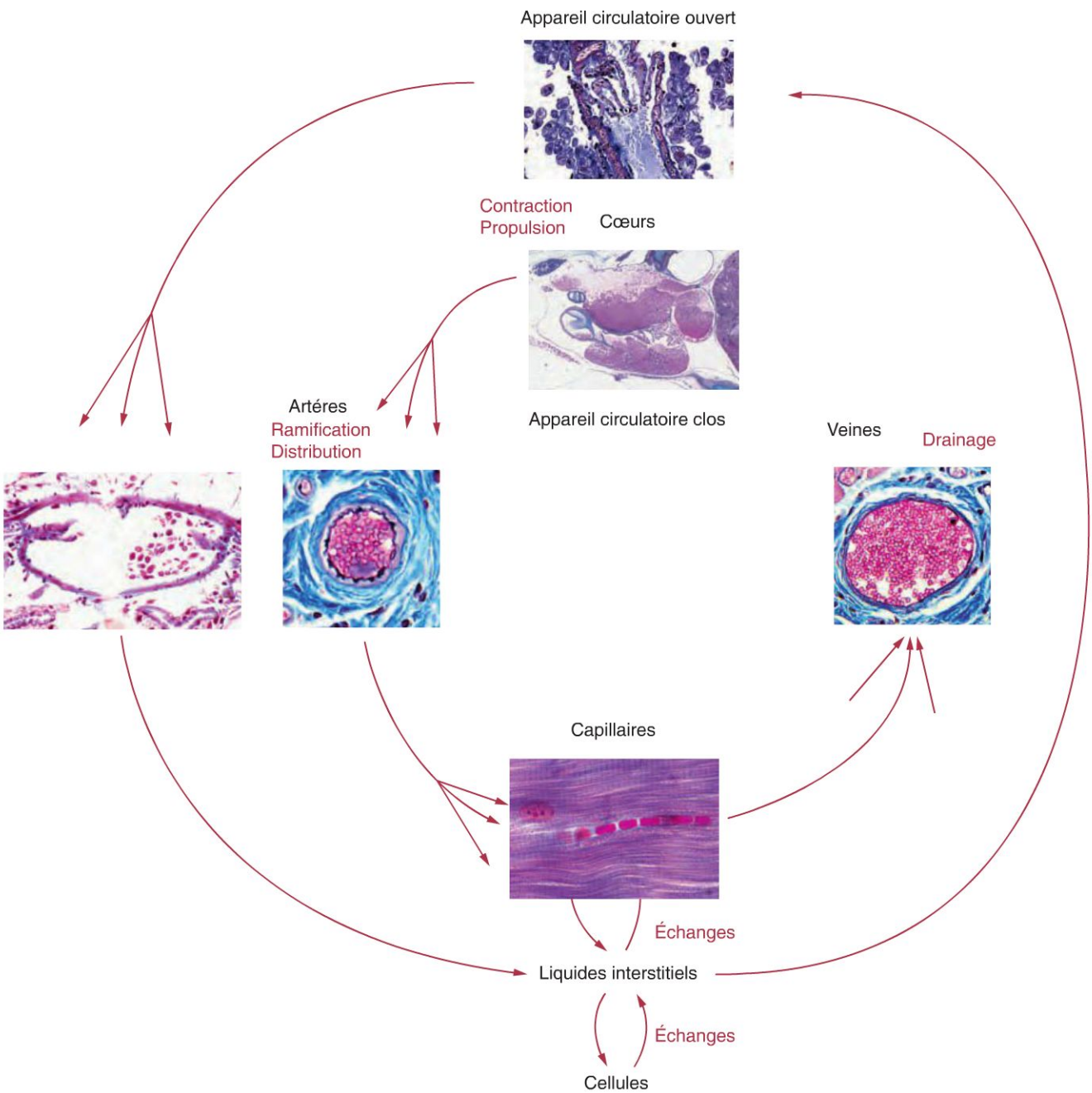
Figures 2. et 3. Le cœur du *Criquet* : des chambres musculeuses ouvertes sur l'hémocœle (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Le cœur du *Criquet* est formé d'une succession de chambres contractiles renflées. Elles communiquent entre elles par des orifices munis de valves. La paroi du cœur est constituée de fibres musculaires striées et percée d'ouvertures appelées ostioles, également munies de valves.
L'hémolymphe contenue dans l'hémocœle pénètre dans le péricarde puis dans le cœur à la faveur des ostioles. Ce processus est favorisé par la dilatation du cœur due au relâchement de la musculature cardiaque, au jeu de fibres élastiques et à la contraction de muscles externes. La contraction des fibres musculaires cardiaques provoque la circulation de l'hémolymphe de l'arrière vers l'avant et sa propulsion dans l'artère aorte.

Figure 4. L'artère aorte du *Criquet* : un vaisseau ouvert sur l'hémocœle (*coupe transversale du thorax, microscope photonique*) Chez le *Criquet*, l'hémolymphe provenant du cœur circule vers l'avant au sein d'une artère aorte courant dorsalement dans le thorax et la tête. Elle possède une fine paroi associée à quelques fibres musculaires.
L'artère aorte forme quelques ramifications thoraciques avant de s'ouvrir sur l'hémocœle, y déversant l'hémolymphe qui baigne alors les organes. À la différence du sang des Vertébrés, l'hémolymphe des Insectes n'est pas impliquée dans le transport des gaz respiratoires, acheminés directement entre milieu extérieur et cellules par l'appareil respiratoire trachéen (fiche 42). Appareils circulatoire et respiratoire sont indépendants dans ce groupe.

FIGURE 4

Copyright © 2015 Dunod.

4 L'intégration : distribution et appareils circulatoires



Copyright © 2015 Dunod.

Unité et diversité de la distribution et des appareils circulatoires chez les animaux

fiche 76

Les appareils circulatoires sont des dispositifs anatomiques spécialisés dans la mise en mouvement et la répartition des liquides dans l'organisme. Ces fonctions sont réalisées respectivement par les cœurs, organes propulseurs, et les vaisseaux, canalisations.
Selon leur organisation, deux grands types d'appareils circulatoires sont distingués. Les appareils circulatoires ouverts, rencontrés par exemple chez les Arthropodes et la plupart des Eumollusques, sont caractérisés par un endiguement incomplet des liquides circulants (fiches 10, 11, 13 à 16) ; après avoir cheminé dans des vaisseaux artériels, l'hémolymphe se répand dans des lacunes ou des sinus puis retourne au cœur (fiche 75). À l'inverse, dans les appareils circulatoires clos, observés notamment chez les Vertébrés et les Annélides, les liquides circulants sont totalement endigués (fiches 7 à 9, 22 à 27) ; le sang est propulsé dans les artères, transite dans des vaisseaux capillaires puis est ramené au cœur par l'intermédiaire de veines (fiches 73, 74).

Quelle que soit l'architecture de l'appareil circulatoire, les liquides qu'il prend en charge traversent les organes et des échanges sont généralement réalisés. Ainsi, lors de leur passage dans l'appareil digestif et dans l'appareil respiratoire, ils sont enrichis respectivement en nutriments et dioxygène. Ils alimentent alors les cellules profondes en ces substances, et parallèlement récupèrent 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 (fiche 54).
Les liquides circulants sont donc le support d'interrelations trophiques et hormonales au sein de l'organisme. Les substances prises en charge par ces liquides sont transportées sous forme dissoute (nombreux nutriments, déchets azotés) ou couplées à des molécules circulantes (pigments respiratoires libres ou intracellulaires pour les gaz respiratoires, protéines de liaison pour les hormones).

Certains animaux, comme les Porifères, les Cnidaires, les Plathelminthes ou les Nématodes, sont dépourvus d'appareil circulatoire (fiches 3, 5, 6, 12, 18, 19). Ce sont généralement des organismes de petite taille, au sein desquels la plupart des cellules sont au contact ou peu éloignées du milieu extérieur. 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 (cœlome, appareil circulatoire). Leur organisation générale peut être mise en relation avec le plan d'organisation de l'animal mais également avec les 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. Inversement, l'appareil circulatoire des Insectes est totalement indépendant de leur appareil respiratoire. Lorsque plusieurs compartiments coexistent, comme par exemple chez le *Lombric*, leurs fonctions sont généralement complémentaires ; ainsi, l'appareil circulatoire distribue le dioxygène et les nutriments, draine les déchets alors que le cœlome en réalise l'évacuation grâce aux métanéphridies (fiches 7, 8, 46).

La circulation assure les transferts de matière et d'énergie au sein de l'organisme. De même que la coordination réalisée par le système nerveux et le système endocrinien, elle contribue à l'intégration des activités des composants de l'organisme.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

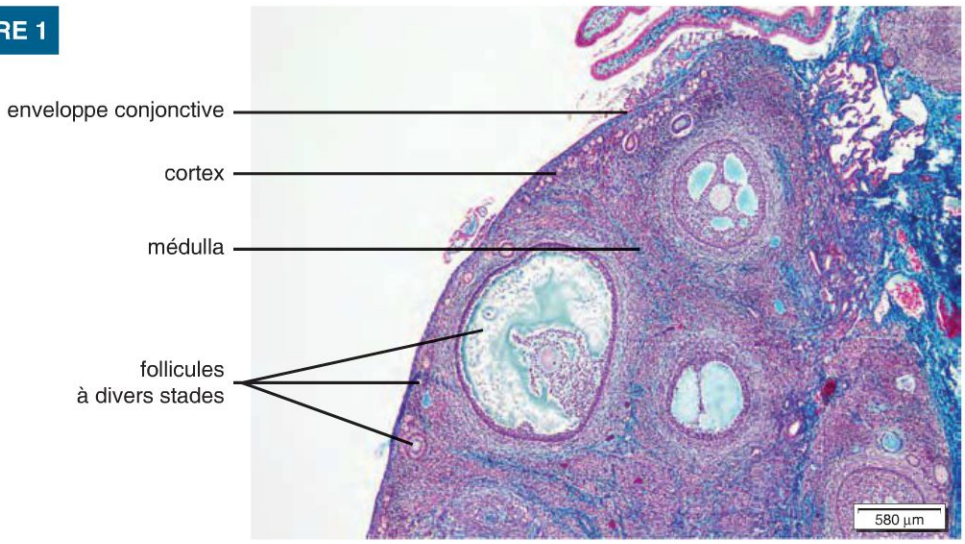


FIGURE 2

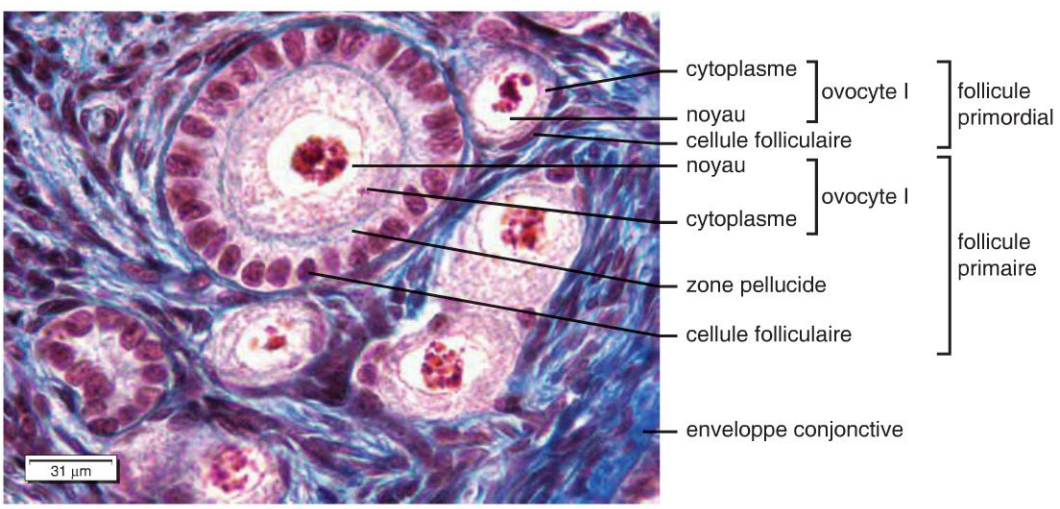
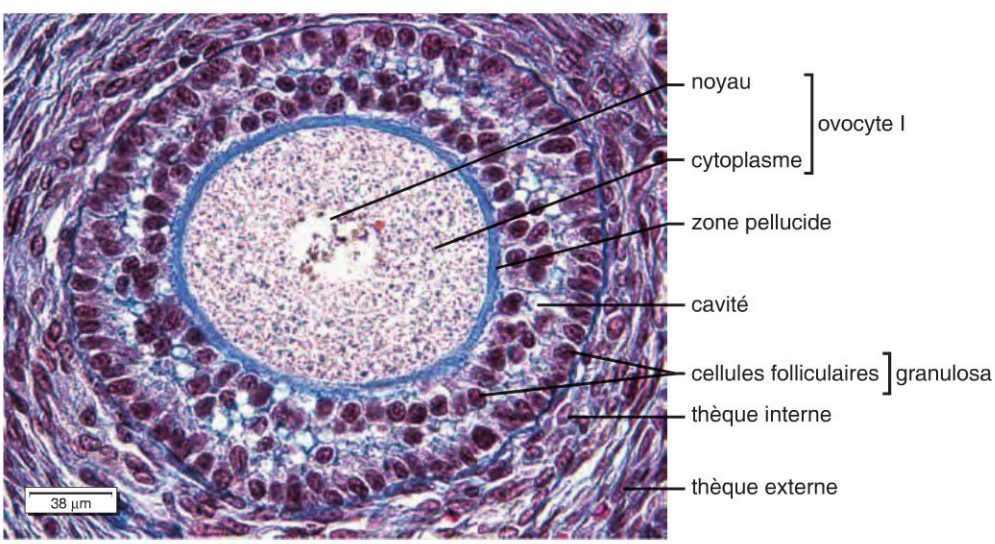


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La production des ovules par l'ovaire chez les Mammifères

fiche 77

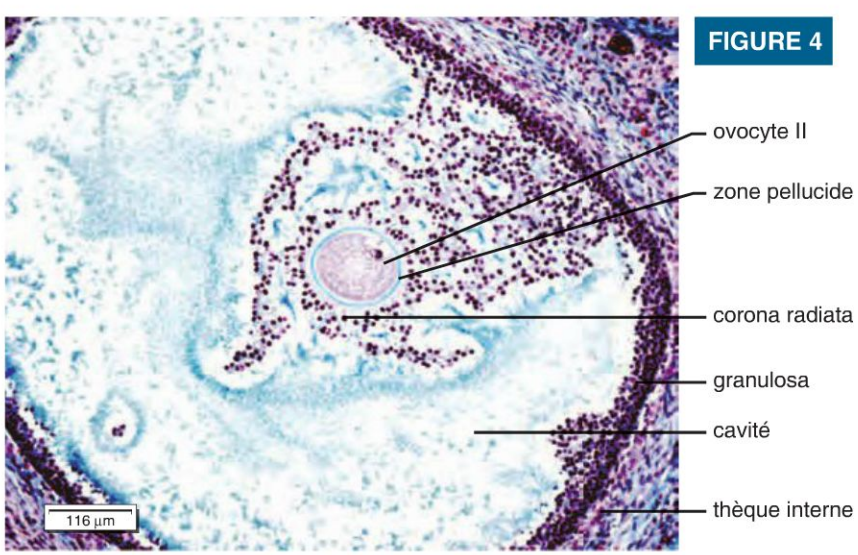
Les animaux sont capables de donner naissance à de nouveaux individus leur ressemblant, par la fonction de reproduction. La reproduction sexuée implique la formation de cellules reproductrices femelles et mâles, les gamètes, dont la fusion appelée fécondation est à l'origine d'une cellule œuf ou zygote, première cellule du nouvel individu. Appelée gamétogenèse, elle fait intervenir le phénomène de méiose aboutissant à la mise en place de gamètes haploïdes.
Chez les femelles, l'appareil génital est notamment constitué d'ovaires, gonades au sein desquelles est réalisée la gamétogenèse (fiche 83). Plusieurs stades correspondant aux étapes de la méiose se succèdent : les cellules sexuelles originelles, appelées ovogonies, prennent le nom d'ovocytes I au début de leur évolution. Au terme de la première division de méiose, elles deviennent des ovocytes II et en fin de seconde division méiotique, des ovotides (fiche 81).

Figure 1. L'ovaire de la *Lapine* : la formation des gamètes au sein de follicules corticaux (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Les Mammifères femelles possèdent une paire d'ovaires abdominaux (fiche 26). Entourés d'une capsule conjonctive, ils sont formés d'un cortex périphérique et d'une médulla interne (stroma), constituée de tissu conjonctif fibreux associé à des fibres musculaires lisses. Le cortex est le site de l'évolution des cellules sexuelles. En association avec des cellules ovariennes folliculaires, elles constituent des follicules. Plusieurs stades d'évolution sont observés dans un même ovaire.

Figure 2. Les follicules primordial et primaire de l'ovaire de la *Lapine* : la formation et la croissance des follicules contenant des ovocytes I (*coupe longitudinale d'ovaire, microscope photonique*) Au cours de la vie fœtale de la *Lapine,* une multiplication des ovogonies intervient et certaines évoluent en ovocytes I. En association avec une couche périphérique de cellules folliculaires pavimenteuses, elles constituent les follicules primordiaux. La multiplication des cellules folliculaires, la modification de leur forme qui devient cubique et l'augmentation de la taille de l'ovocyte I, aboutissent à la transformation des follicules primordiaux en follicules primaires. L'ovocyte est alors isolé des cellules folliculaires par une enveloppe appelée zone pellucide.

Figure 3. Le follicule secondaire de la *Lapine* : la croissance du follicule et la formation de la thèque (*coupe longitudinale d'ovaire, microscope photonique*) Le développement ultérieur des follicules est marqué par la prolifération des cellules folliculaires et leur organisation en plusieurs assises, constituant la granulosa. Simultanément des cellules de la médulla forment une couche appelée thèque autour du follicule, dont la région interne comporte des cellules sécrétrices d'hormones stéroïdes.

Figure 4. Le follicule de De Graaf de la *Lapine* : la maturation du follicule par formation de l'ovocyte II et de la cavité folliculaire (*coupe longitudinale d'ovaire, microscope photonique*) L'ovocyte I ayant terminé sa croissance, il subit la première division de méiose et devient un ovocyte II. La seconde division de méiose débute alors. Parallèlement, une cavité est formée au sein du follicule et les cellules folliculaires acquièrent une fonction endocrine. Certaines continuent à entourer l'ovocyte et composent la corona radiata. À maturité, le follicule libère l'ovocyte II dans la cavité corporelle à proximité de l'oviducte, processus appelé ovulation.



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

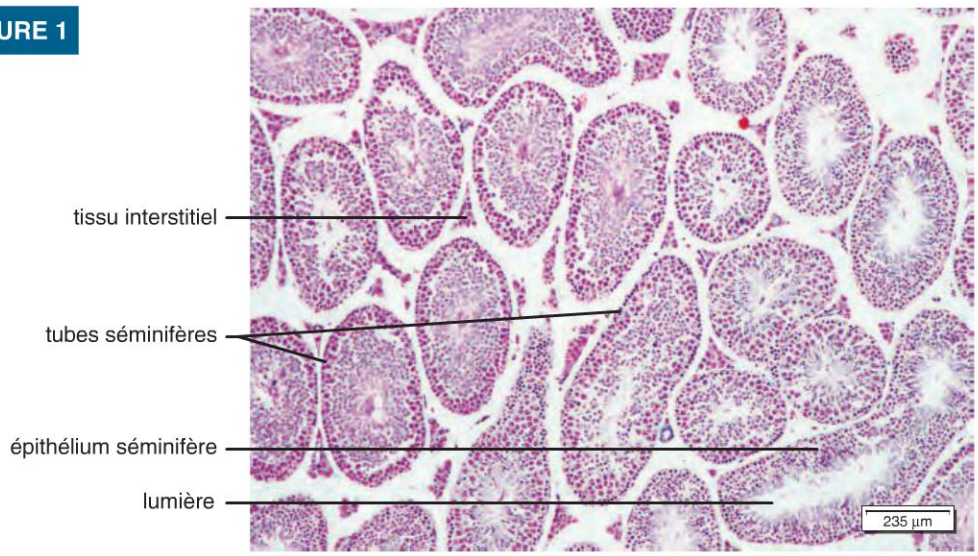
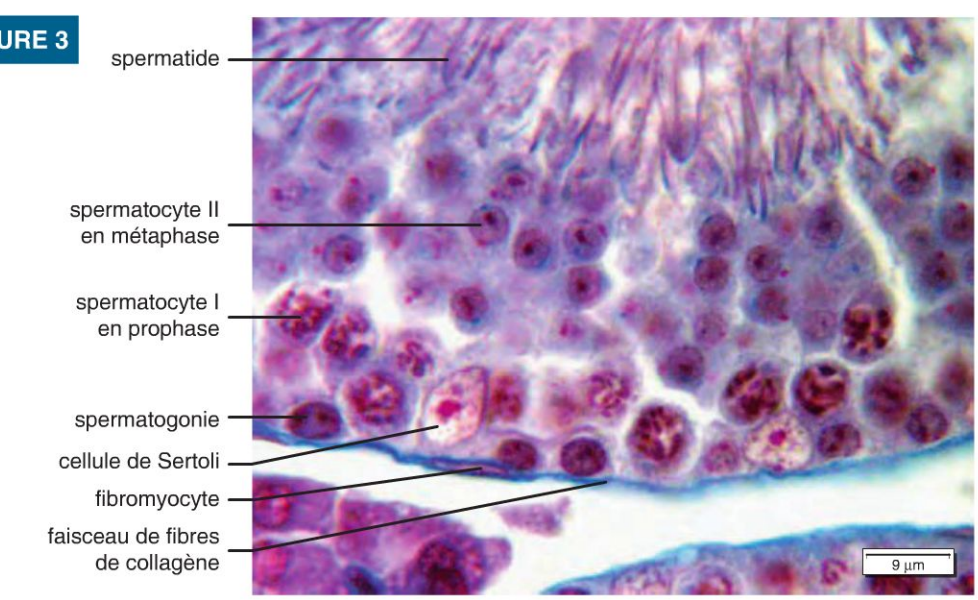


FIGURE 2

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La production des spermatozoïdes par le testicule chez les Mammifères

fiche 78

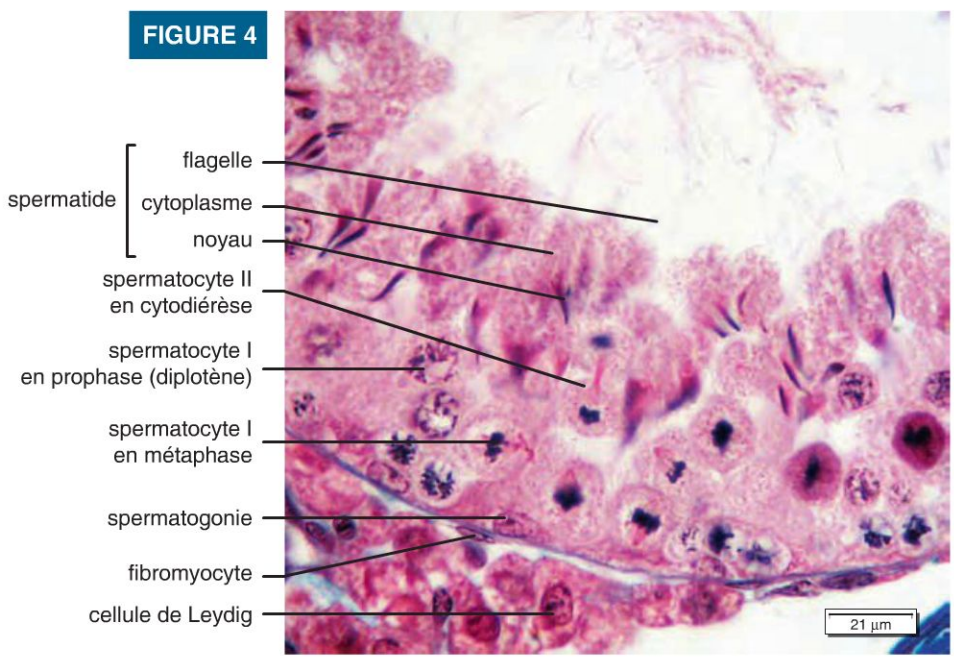
La fonction de reproduction consiste en la production par les êtres vivants de descendants leur ressemblant.
Dans le cas des animaux, la reproduction sexuée implique la fécondation, fusion d'un gamète femelle, l'ovule, avec un gamète mâle, le spermatozoïde, tous deux haploïdes. Elle conduit à la formation d'un zygote diploïde, cellule œuf à l'origine d'un nouvel individu.
Chez le mâle, les testicules sont les organes de l'appareil génital responsables de la formation des gamètes, appelée gamétogenèse. Elle est réalisée en plusieurs phases, correspondant aux étapes de la méiose et à la différenciation finale des gamètes. Les cellules sexuelles originelles correspondent aux spermatogonies. Au début de leur évolution, elles prennent le nom de spermatocytes I. La première division de méiose les transforme en spermatocytes II et en fin de seconde division méiotique elles deviennent des spermatides dont la différenciation en spermatozoïdes constitue la spermiogenèse (fiche 82).

Figure 1. Le testicule de la *Souris* : la formation des gamètes au sein de tubes séminifères (*coupe transversale, stéréomicroscope*) Chez les Mammifères, le testicule est entouré d'une capsule conjonctive. Il est formé de nombreux tubes pelotonnés, les tubes séminifères, les espaces les séparant étant occupés par du tissu conjonctif interstitiel. La paroi des tubes séminifères est représentée par un épithélium séminifère donnant naissance aux spermatozoïdes, libérés dans la lumière.

Figure 2. Les tubes séminifères de la *Souris* : la formation centripète des spermatozoïdes au sein de l'épithélium séminifère (*coupe transversale de testicule, microscope photonique*) Les tubes séminifères sont entourés d'une membrane basale et de tissu conjonctif dans lequel des fibromyocytes fusiformes sont présents. Responsables de la synthèse des constituants du tissu conjonctif, ces cellules sont contractiles et contribuent à la mise en mouvement du contenu des tubes. La paroi des tubes séminifères correspond à un épithélium composé de cellules de Sertoli basales, à rôle nourricier, et de cellules sexuelles à divers stades de maturation et de différenciation, les plus évoluées étant plus proches de la lumière. Entre les tubes séminifères, le tissu interstitiel contient des cellules de Leydig, étroitement associées à des capillaires sanguins et sécrétrices de testostérone, hormone stéroïde indispensable au bon déroulement de la spermatogenèse agissant en particulier sur les cellules de Sertoli.

Figures 3. et 4. L'épithélium séminifère de la *Souris* : des spermatogonies aux spermatozoïdes par la méiose et la spermiogenèse (*coupe transversale de testicule, microscope photonique*) L'épithélium séminifère est formé de plusieurs couches de cellules correspondant à des étapes successives de la spermatogenèse. Quatre phases composent une section d'épithélium chez la *Souris*. Les cellules des stades précoces ont une localisation périphérique alors que les cellules des stades tardifs sont proches de la lumière. Il s'agit de quatre générations de cellules entrées dans le processus de gamétogenèse avec un décalage temporel. Un nombre limité d'associations est ainsi observé, constituant des stades d'évolution de l'épithélium séminifère.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

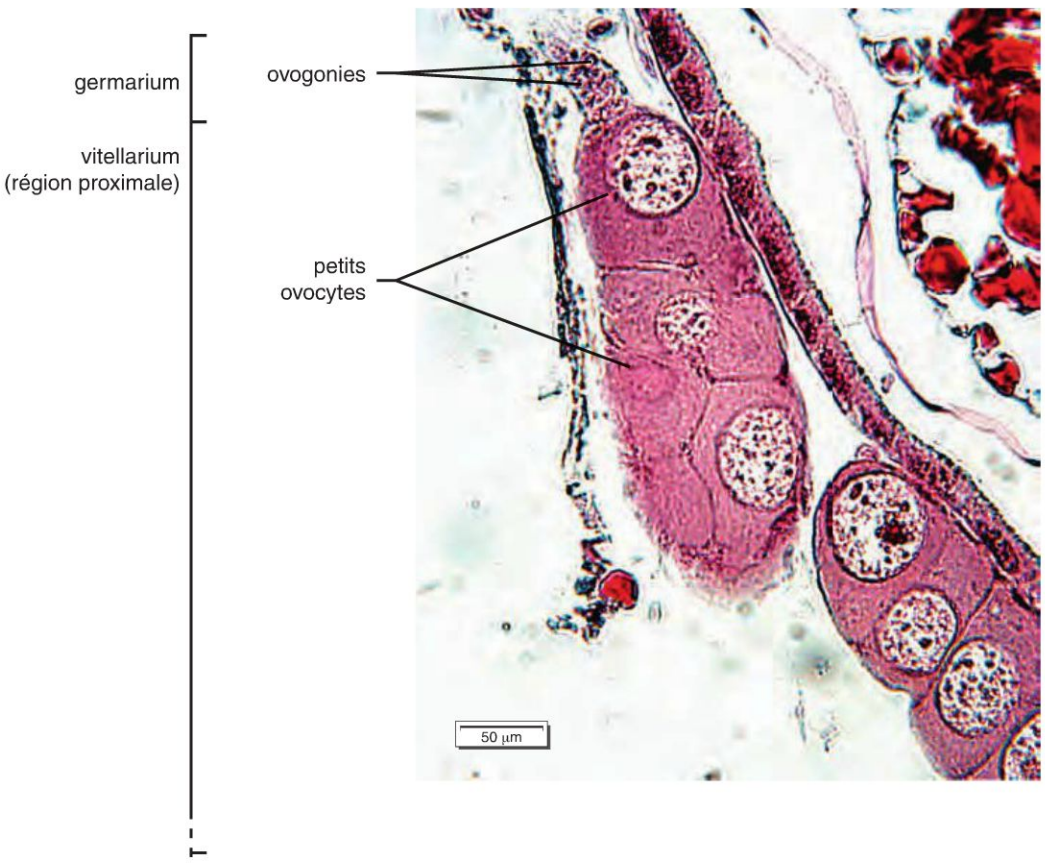
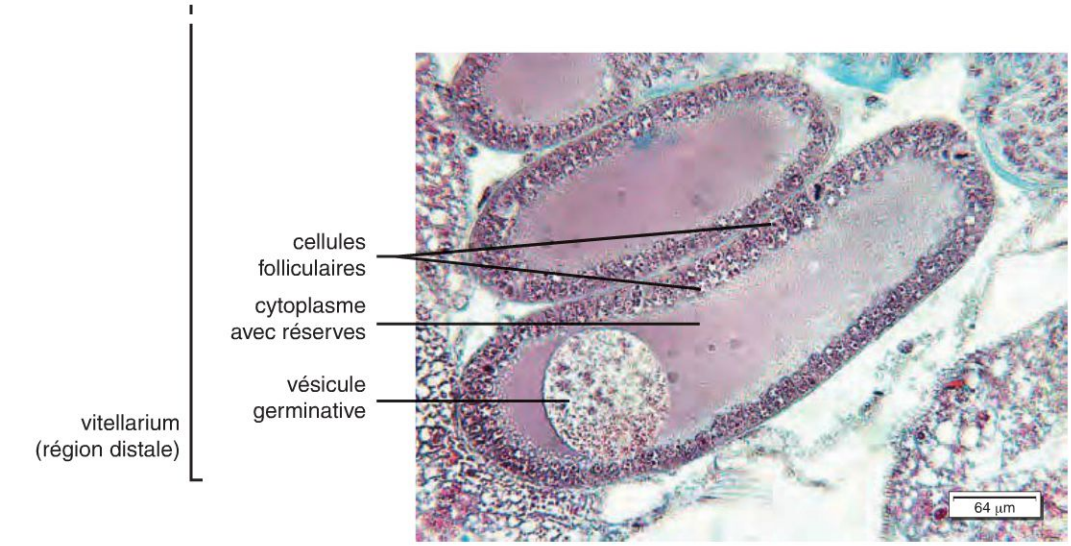


FIGURE 2



Copyright © 2015 Dunod.

La production des ovules par l'ovaire et des spermatozoïdes par le testicule chez les Insectes

fiche 79

Les organes génitaux, ovaires femelles et testicules mâles, réalisent la gamétogenèse, formation des gamètes haploïdes, respectivement ovules et spermatozoïdes. Acteurs de la reproduction sexuée, les gamètes sont à l'origine de nouveaux individus grâce à la fécondation, fusion produisant la première cellule de ces derniers.

Figures 1. et 2. L'ovaire du *Grillon* : la formation des gamètes femelles dans des ovarioles panoïstiques polarisées (*coupe longitudinale des régions antérieure et postérieure respectivement, microscope photonique*) Les ovaires des femelles chez les Insectes sont entourés d'un épithélium et formés d'unités fonctionnelles juxtaposées, les ovarioles. Chez le *Grillon*, chaque ovariole est constituée d'un germarium antérieur dans lequel intervient la multiplication des cellules sexuelles. Toutes les cellules produites sont susceptibles d'évoluer en ovocytes, caractéristique des ovarioles panoïstiques. Les ovocytes s'entourent de quelques cellules ovariennes, formant des follicules. Ils migrent vers la région postérieure de l'ovariole appelée vitellarium. Les ovocytes y accumulent des réserves prélevées dans l'hémolymphe, synthétisées par les cellules folliculaires ou élaborées par les cellules sexuelles elles-mêmes. Les cellules folliculaires produisent ensuite des enveloppes entourant l'ovocyte et formant le chorion. Un orifice, le micropyle, y est ménagé permettant la pénétration du gamète mâle. Les cellules folliculaires sécrètent également des ecdystéroïdes, hormones nécessaires au bon déroulement de l'ovogenèse.

Figures 3. et 4. Le testicule du *Grillon* : la formation des gamètes mâles dans des ampoules testiculaires (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Les testicules des mâles chez les Insectes comme le *Grillon* sont formés d'ampoules testiculaires. Leur extrémité distale contient les spermatogonies, associées à des cellules dites précystiques. Dans la zone de croissance qui lui fait suite, des spermatocytes I sont présents et groupés au sein de cystes. Les cellules sexuelles subissent la méiose dans la zone postérieure, de maturation. Devenues spermatides, elles évoluent en spermatozoïdes par le processus de spermiogenèse dans la zone de transformation, acquérant notamment un flagelle. Les spermatozoïdes sont agglutinés par les cellules cystiques. La paroi des ampoules testiculaires serait par ailleurs impliquée dans la sécrétion d'ecdystéroïdes, hormones contrôlant la spermatogenèse.

FIGURE 3

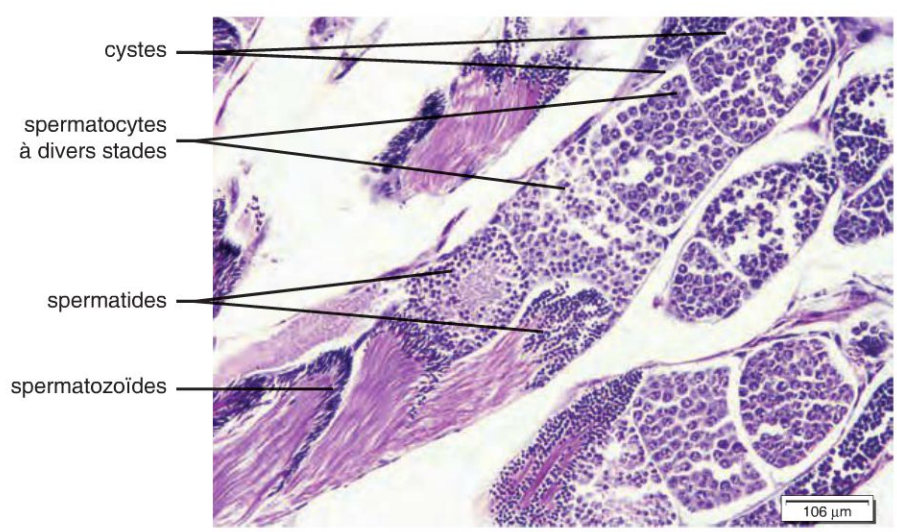
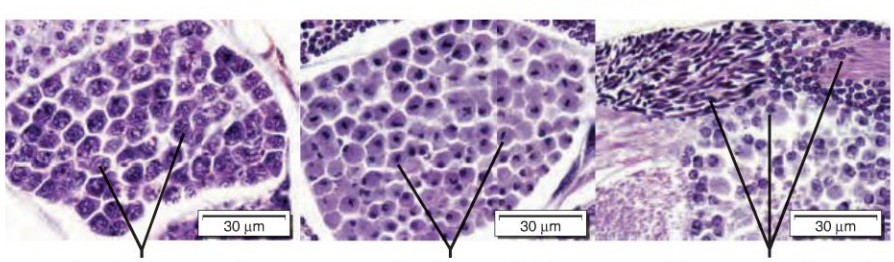


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

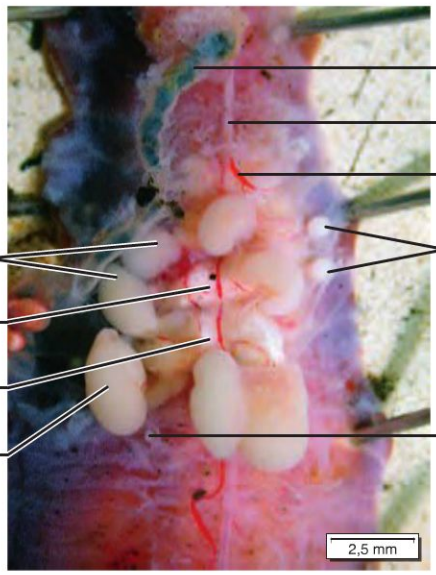


FIGURE 2

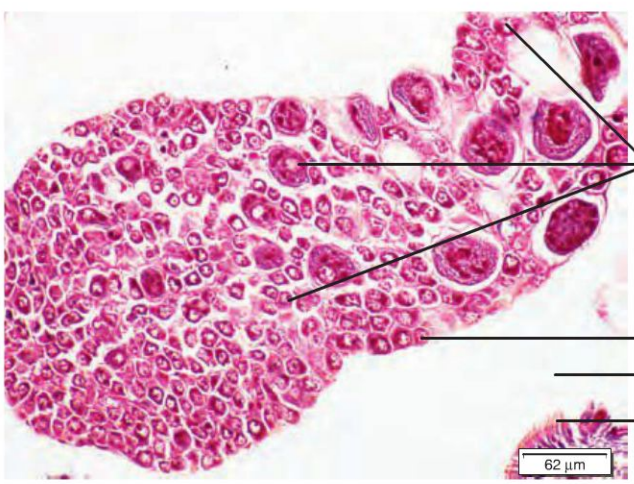


FIGURE 3

Copyright © 2015 Dunod.

La production des ovules et des spermatozoïdes chez les animaux hermaphrodites

fiche 80

La reproduction sexuée des Métazoaires implique la formation de cellules sexuelles complémentaires et haploïdes, les gamètes, dont la fusion ou fécondation est à l'origine d'un zygote, première cellule d'un nouvel individu. Chez la plupart des espèces les ovules, gamètes femelles, et les spermatozoïdes, gamètes mâles, sont produits par des individus distincts ; elles sont qualifiées d'espèces gonochoriques. Il existe cependant des espèces hermaphrodites dont les individus sont capables d'élaborer à la fois des gamètes femelles et des gamètes mâles. Les individus hermaphrodites présentent fréquemment des gonades femelles et mâles distinctes mais dans certains cas, des gonades mixtes sont présentes. De manière générale, la production des ovules et celle des spermatozoïdes sont différées dans le temps.

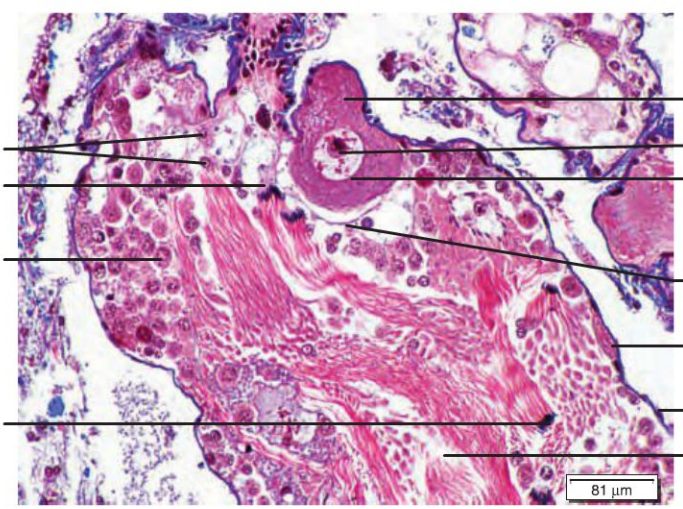
Figure 1. L'appareil génital du *Lombric* : la production de gamètes par des gonades femelles et mâles distinctes (*vue dorsale*) Le *Lombric,* Annélide oligochète, est un exemple d'animal hermaphrodite. La portion femelle de son appareil génital est représentée par deux ovaires localisés à la limite des métamères 12 et 13, deux oviductes ouverts sur le métamère 13 et situés dans le métamère 14 où ils débouchent sur l'extérieur, deux ovisacs associés aux oviductes. S'y ajoutent deux paires de spermathèques localisées dans les métamères 9 et 10, et ouverts sur l'extérieur à la jonction des métamères 9 et 10 d'une part, 10 et 11 d'autre part. La portion mâle de l'appareil génital est constituée de deux paires de testicules logés à l'intérieur de sacs testiculaires impairs, dans les métamères 10 et 11. Le sac testiculaire antérieur est en relation avec deux paires de vésicules séminales, alors que le sac testiculaire postérieur est associé à une unique paire de vésicules séminales. Deux spermiductes naissent de chaque sac testiculaire et convergent en un conduit unique dans le métamère 11, débouchant à l'extérieur au niveau du métamère 15.

Figure 2. L'ovaire du *Lombric* : la formation des ovogonies et des ovocytes (*coupe longitudinale de microscope photonique*) Les ovaires du *Lombric* correspondent à deux petites structures piriformes localisées dans le métamère 13. Limités par un épithélium fin, ils présentent dans leur région antérieure des ovogonies et dans leur région postérieure des ovocytes. Les ovocytes sont libérés dans la cavité cœlomique, avant d'être pris en charge par un oviducte dans lequel ils pénètrent par un pavillon cilié. Ils passent alors dans l'ovisac, poche associée à l'oviducte, où ils poursuivent leur maturation.

Figure 3. Le testicule du *Lombric* : la formation des spermatogonies (*coupe longitudinale microscope photonique*) Les testicules du *Lombric*, au nombre de deux paires, sont situés dans les métamères 10 et 11, à l'intérieur de sacs testiculaires. Ils produisent des spermatogonies, cellules sexuelles immatures qu'ils libèrent dans les vésicules séminales où elles évoluent en spermatozoïdes.

Figure 4. L'ovotestis de l'*Escargot* : la production d'ovules et de spermatozoïdes par une gonade mixte (*coupe transversale, microscope photonique*) La gonade de l'*Escargot* est formée de tubules entre lesquels un tissu intertubulaire peu dense est présent. Entourés d'une enveloppe conjonctive, ils sont bordés d'un épithélium germinal à partir duquel se développent les gamètes femelles comme les gamètes mâles. Les ovocytes sont volumineux et accolés à la paroi des tubules. Les spermatocytes, plus petits, sont associés à des cellules nourricières et occupent la lumière des tubules. Mixte, la gonade est désignée par le terme ovotestis.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

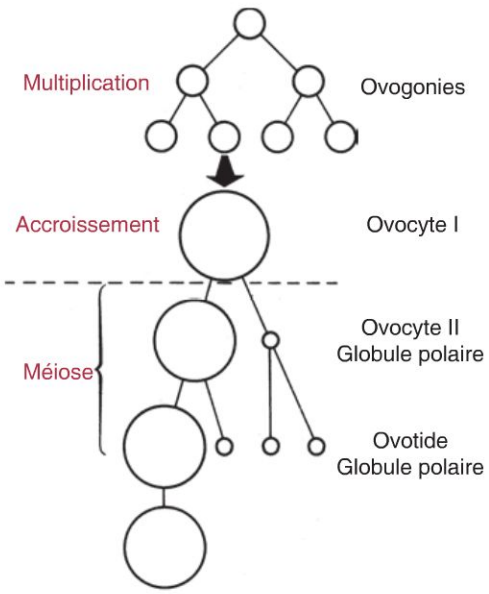


FIGURE 4

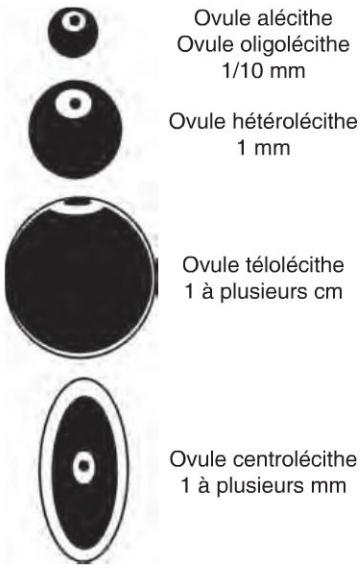


FIGURE 2

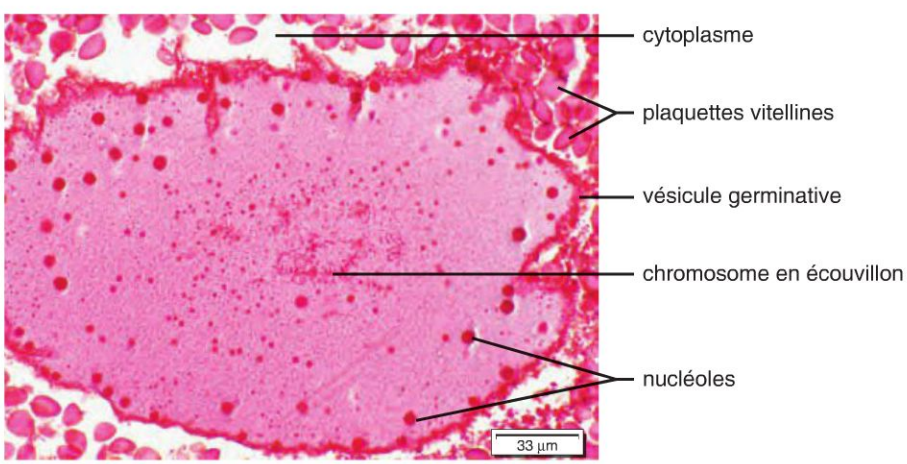
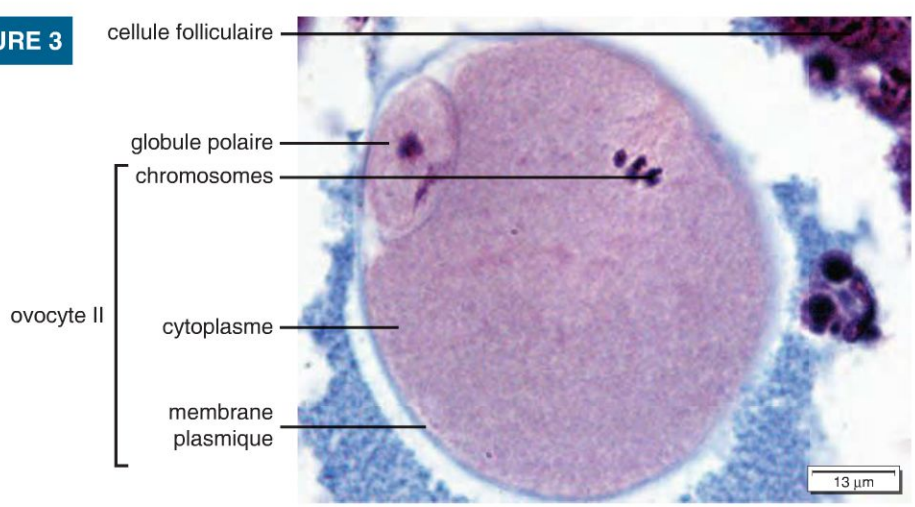


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

L'ovogenèse : des ovogonies aux ovules

fiche 81

Chez les Métazoaires, les gamètes femelles ou ovules sont formés par le processus d'ovogenèse. Il comporte des évènements nucléaires qui correspondent à la méiose, aboutissant à une garniture chromosomique haploïde, ainsi que des phénomènes cytoplasmiques qui constituent l'accroissement, consistant en l'accumulation de réserves. L'ovogenèse est un processus lent et discontinu dont le contrôle est complexe. Il conduit le plus souvent à des cellules de grande taille et immobiles, contenant les substances nécessaires au début du développement embryonnaire.

Figure 1. Le déroulement de l'ovogenèse : des ovogonies aux ovotides par la méiose et l'accroissement L'ovogenèse correspond à l'évolution des cellules germinales femelles depuis le stade ovogonie jusqu'au stade ovotide. Elle fait intervenir des divisions mitotiques des ovogonies puis des divisions méiotiques des ovocytes. Ces dernières sont inégales et donnent naissance à une cellule volumineuse qui poursuit l'ovogenèse, et une cellule de petite taille, le globule polaire, qui subit une involution.

Figure 2. L'ovocyte I du *Triton* : une cellule en phase d'accroissement (*coupe transversale de* Triton *femelle, microscope photonique*) L'ovogenèse est généralement compliquée par un phénomène d'accroissement, augmentation de la taille de la cellule du fait de l'accumulation de réserves métaboliques (vitellus), de protéines du cytosquelette et d'acides ribonucléiques (ARN). Il 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 des figures de chromosomes en écouvillon.
Les réserves vitellines sont fréquemment élaborées par des organes autres que l'ovaire (tissu adipeux 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, la vitellogenèse est alors qualifiée d'exogène. Elles peuvent également être synthétisées par l'ovocyte à partir de précurseurs prélevés dans les liquides environnants, comme dans la vitellogenèse endogène de certains Annélides et Eumollusques. 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 Lissamphibiens, 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 reprendre.

Figure 3. L'ovocyte II de la *Souris* : une cellule expulsée par l'ovaire (*coupe transversale, microscope photonique*) La phase d'accroissement terminée, la première division de méiose reprend. Elle conduit à la formation de deux cellules inégales, l'ovocyte II à l'origine de l'ovule, et le globule polaire dégénérant. La seconde division de méiose débute alors. Dans le cas des Vertébrés comme la *Souris* la cellule sexuelle expulsée hors de l'ovaire, appelée ovule, est un ovocyte II bloqué en seconde division de méiose. La méiose ne reprend qu'après la pénétration du spermatozoïde dans l'ovule (fiche 77).
Le stade de la méiose atteint par cellule sexuelle expulsée hors de l'ovaire varie selon les espèces. Si l'ovule est un ovocyte II bloqué en seconde division de méiose chez les Vertébrés, il correspond à un ovotide chez l'*Oursin*, à un ovocyte I bloqué en première division de méiose chez les Insectes et les Céphalochordés voire un ovocyte I non entré en méiose chez l'*Ascaris* et certains Eumollusques.

Figure 4. La diversité des ovules : des différences concernant la quantité et la répartition du vitellus Selon l'abondance des réserves vitellines, plusieurs catégories d'ovules sont distinguées. Les ovules alécithes sont dépourvus de vitellus et rencontrés chez la plupart des Mammifères (fiche 77). Les ovules oligolécithes sont pauvres en vitellus et présents chez les Cnidaires, les Échinodermes et les Céphalochordés. Les ovules hétérolécithes possèdent un vitellus abondant mais réparti de façon hétérogène et existent chez les Annélides, la plupart des Eumollusques et les Lissamphibiens. Les ovules télolécithes ont un vitellus très abondant et sont observés chez les Téléostéens et les Oiseaux. Les ovules centrolécithes sont ovales, à vitellus abondant, à noyau central, et présents chez les Insectes notamment (fiche 79).

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

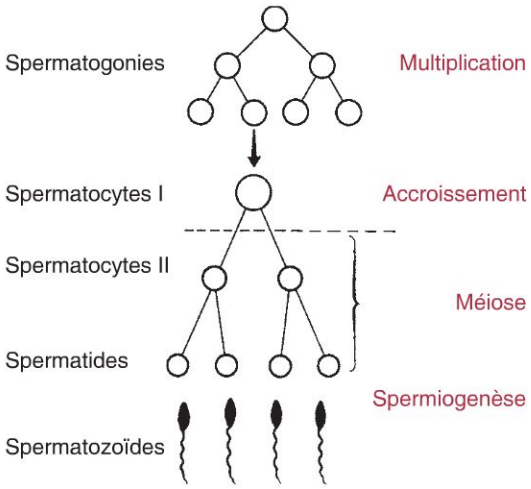


FIGURE 2

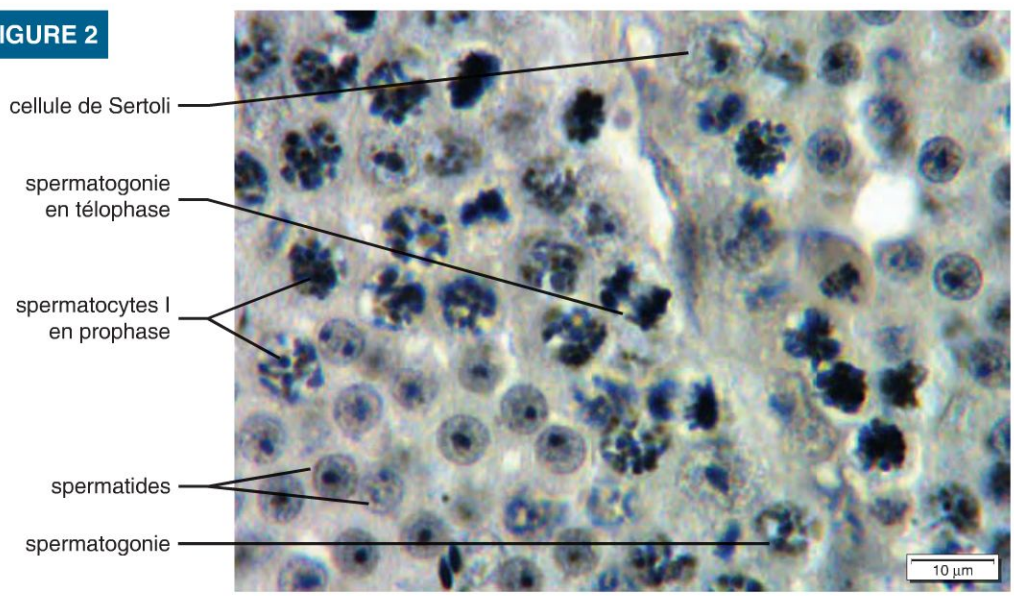
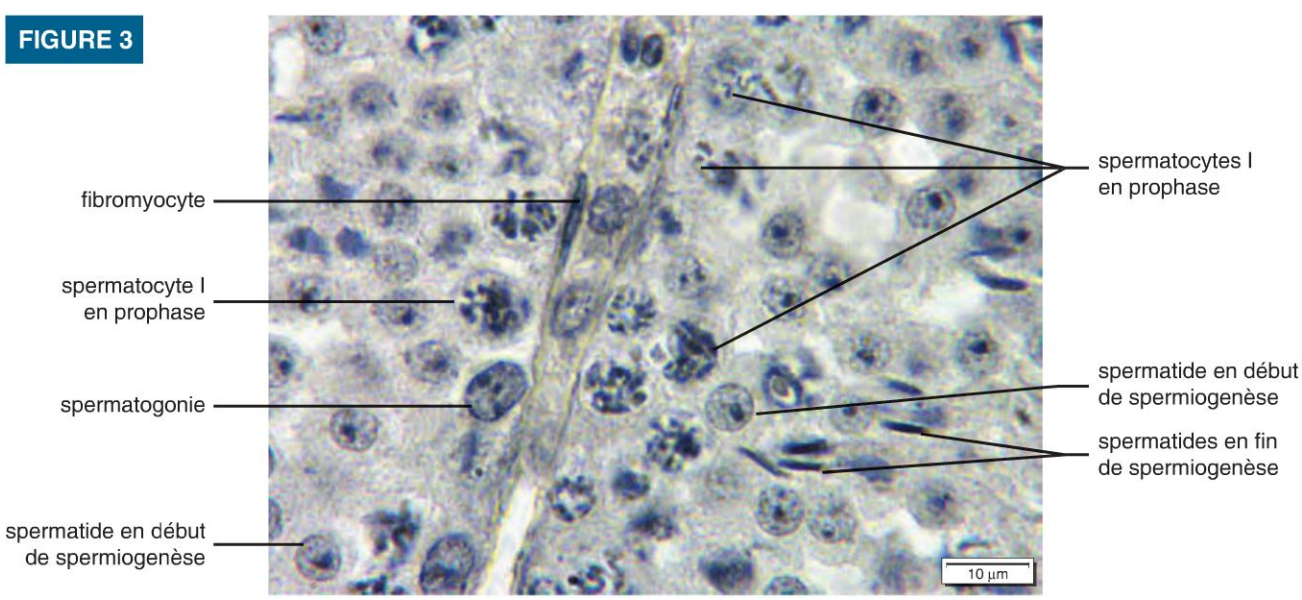


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La spermatogenèse : des spermatogonies aux spermatozoïdes

fiche 82

Chez les Métazoaires, les gamètes mâles ou spermatozoïdes sont formés par le processus de spermatogenèse. Il comporte des évènements nucléaires qui correspondent à la méiose, aboutissant à une garniture chromosomique haploïde, ainsi que des phénomènes cytoplasmiques qui constituent la différenciation, consistant en l'acquisition d'une morphologie spécialisée. La spermatogenèse est un processus continu dont le contrôle est complexe. Il conduit le plus souvent à des cellules de taille réduite, comparée à celle des ovules de la même espèce, et mobiles. Elles possèdent une tête, contenant le noyau, une pièce intermédiaire dans laquelle sont concentrées les mitochondries, et un flagelle locomoteur.

Figure 1. Le déroulement de la spermatogenèse : des spermatogonies aux spermatozoïdes par la méiose et la différenciation La spermatogenèse conduit des spermatogonies aux spermatides puis aux spermatozoïdes. Elle comprend des multiplications conformes des spermatogonies aboutissant à la formation de spermatocytes I. Les spermatocytes I effectuent la première division de méiose et sont transformés en spermatocytes II, qui réalisent la seconde division méiotique, donnant naissance aux spermatides. Une différenciation finale appelée spermiogenèse intervient ensuite. À la différence de la méiose intervenant durant l'ovogenèse, la méiose affectant les cellules sexuelles mâles produit quatre spermatides qui évoluent tous en spermatozoïdes. Ils subissent la spermiogenèse 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.

Figures 2. et 3. Les stades de la spermatogenèse de la *Souris* : des générations de cellules sexuelles évoluant selon des cycles spermatogénétiques synchrones (*coupes transversales de testicule de Souris, microscope photonique*) Chez les Mammifères comme la *Souris*, la spermatogenèse est réalisée au sein des tubes séminifères localisés dans les testicules (fiche 78). Entourés d'une enveloppe conjonctive associée à des cellules contractiles appelées fibromyocytes, ils contiennent des cellules sexuelles à diverses étapes de leur évolution, les cellules les moins avancées étant accolées à l'enveloppe du tube alors que les cellules les plus avancées sont situées dans la lumière. Elles sont associées à des cellules de Sertoli à rôle nourricier.

Les spermatogonies possèdent un noyau volumineux et ovale, dont la chromatine est faiblement condensée, leur cytoplasme est peu abondant. Les spermatocytes I présentent de même un noyau de grande taille, mais la chromatine y est condensée, formant des filaments ou des amas, et le cytoplasme est abondant. Les spermatocytes II sont de taille plus réduite et effectuent rapidement la seconde division de méiose. Les spermatides qui en sont issus sont caractérisés par un noyau sphérique et un cytoplasme relativement abondant. Au cours de la spermiogenèse, le noyau devient effilé et la cellule prend une forme allongée, une partie du cytoplasme étant éliminée.

L'évolution conduisant d'une spermatogonie aux spermatozoïdes qui en dérivent, évacués dans la lumière du tube séminifère, constitue un cycle spermatogénétique. Chez la *Souris*, sa durée est d'environ 35 jours. En un point du tube séminifère, une nouvelle génération de spermatogonies entre en spermatogenèse tous les 8,8 jours et toutes les cellules qui la constituent connaissent des transformations synchrones. En conséquence, plusieurs générations de cellules sexuelles à différents stades d'évolution constituent la paroi du tube séminifère en ce point, formant des associations caractéristiques et en nombre limité.

À l'instar de l'ovogenèse, la spermatogenèse comporte une phase d'accroissement mais elle est limitée sauf dans quelques cas particuliers comme celui de l'*Ascaris* et elle ne coïncide pas avec un blocage de la méiose.

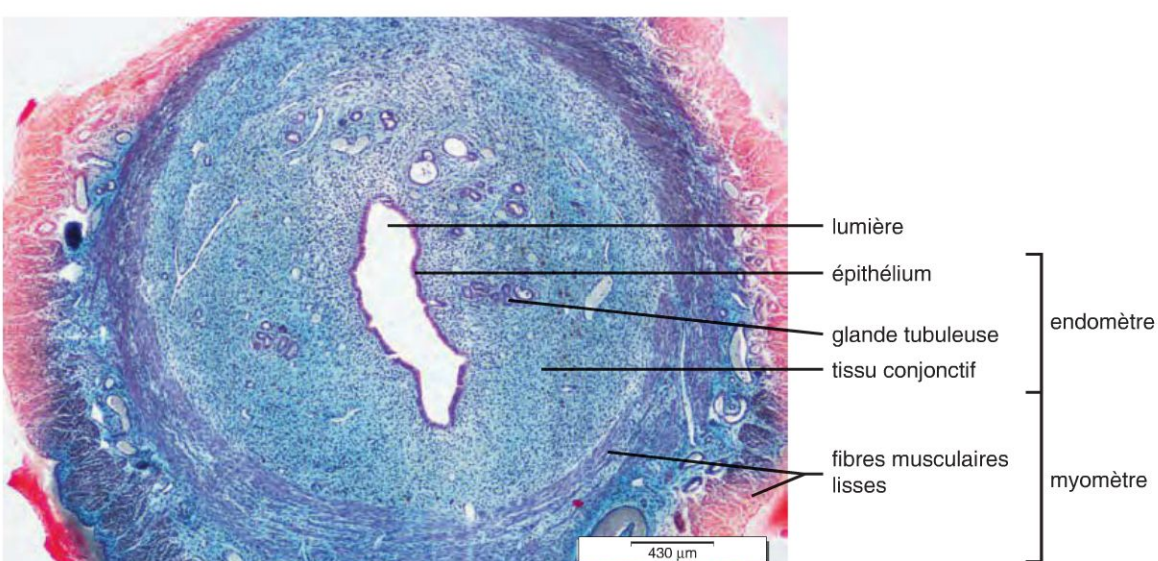
Copyright © 2015 Dunod.

La reproduction : production des œufs, voies génitales et glandes associées

FIGURE 1

FIGURE 2

FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La prise en charge des ovules et des œufs : les voies génitales des Mammifères femelles

fiche 83

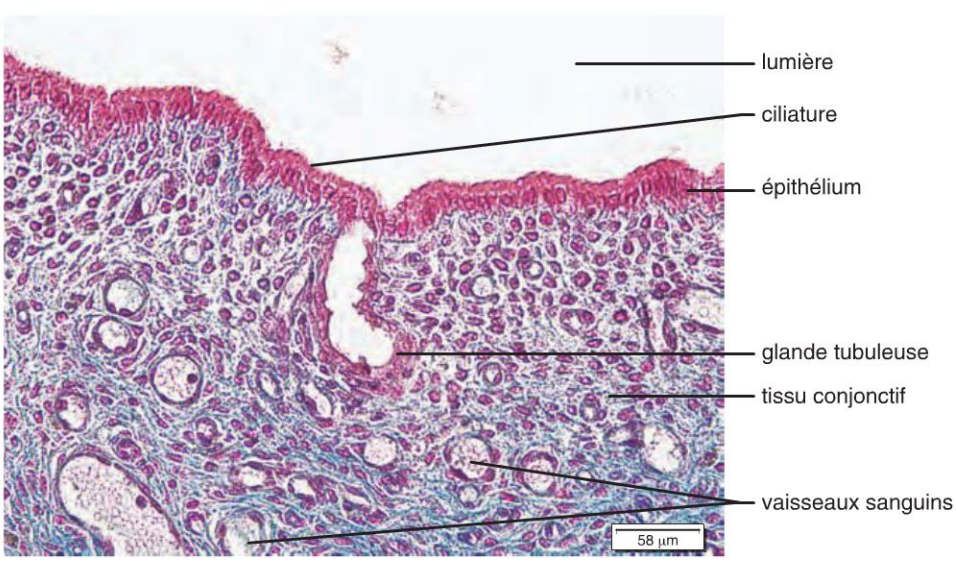
La reproduction sexuée des animaux implique la formation de cellules sexuelles de types complémentaires, les gamètes. Leur fusion, appelée fécondation, est à l'origine d'un zygote ou œuf, première cellule d'un nouvel individu.
La production des gamètes, ovules femelles et spermatozoïdes mâles, est réalisée dans les gonades, respectivement les ovaires et les testicules. Les gamètes transitent ensuite par les voies génitales auxquelles sont fréquemment associées des glandes exocrines.

Figure 1. L'appareil génital de la *Souris* femelle : des voies génitales prenant en charge les ovules formés par les ovaires (*vue ventrale*) L'appareil génital de la *Souris* femelle est constitué d'organes génitaux appelés gonades, produisant les gamètes (fiche 77). En l'occurrence il s'agit d'ovaires, petites structures mamelonnées situées de part et d'autre des reins et entourées de tissu adipeux. Les voies génitales sont représentées par deux oviductes fins et contournés. Chacun débute par un pavillon situé à proximité de l'ovaire mais sans continuité réelle avec lui et s'ouvre sur une branche de l'utérus, bifide dans cette espèce. Les deux branches de l'utérus convergent vers le vagin impair débouchant sur l'extérieur par l'orifice génital. Les oviductes reçoivent les ovules libérés par les ovaires et les acheminent vers l'utérus. Ils sont le siège de la fécondation. Le développement de l'embryon qui en est issu est réalisé dans l'utérus, phénomène caractéristique des espèces vivipares.

Figure 2. L'oviducte de la *Souris* femelle : site de la fécondation et conduit acheminant l'ovule puis l'œuf (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez les Mammifères comme la *Souris*, les ovules entrent dans l'oviducte par un pavillon cilié. La paroi de ce conduit forme des replis. Elle est constituée d'un épithélium prismatique dans lequel alternent cellules ciliées et cellules sécrétrices, soutenu par du tissu conjonctif vascularisé. Une tunique musculeuse est présente en périphérie. L'ensemble est entouré d'une séreuse principalement de nature conjonctive. La fécondation a lieu dans l'oviducte.
Chez les espèces ovipares comme la *Grenouille* et la *Poule*, l'oviducte est en outre responsable de la formation d'enveloppes de l'œuf, qualifiées de tertiaires. Il s'agit respectivement d'une gangue gélatineuse, et de dépôts successifs d'albumine, de membrane coquillière et de coquille.

Figures 3. et 4. L'utérus de la *Souris* femelle : site du développement du nouvel individu (*coupe transversale, microscope photonique*) Les œufs issus de la fécondation, au terme de leur trajet dans l'oviducte, passent dans l'utérus. La paroi utérine est formée d'une muqueuse, l'endomètre, et d'une tunique musculeuse, le myomètre. La muqueuse est constituée d'un épithélium prismatique simple, développant des glandes tubuleuses, soutenu par un tissu conjonctif dense. Le myomètre est quant à lui composé de fibres musculaires lisses entrecroisées. L'ensemble est richement vascularisé et constitue un environnement favorable au développement des embryons, processus caractéristique de la viviparité.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

La reproduction : production des œufs, voies génitales et glandes associées

FIGURE 1

FIGURE 2

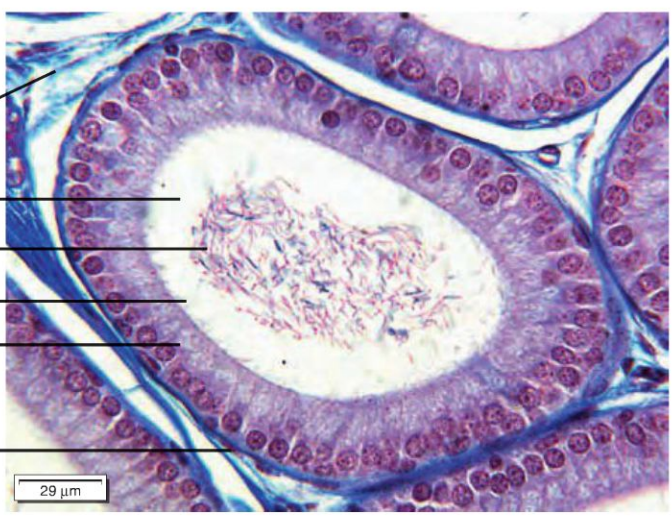
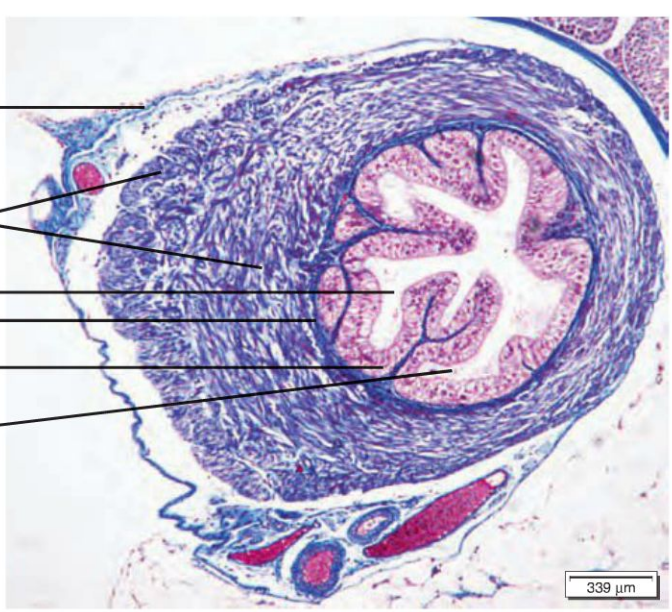


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le transfert des spermatozoïdes : les voies génitales des Mammifères mâles

fiche 84

Chez les Métazoaires, la reproduction sexuée implique la formation de spermatozoïdes et d'ovules, gamètes de types complémentaires, dont la fusion aboutit à la formation de la première cellule d'un nouvel individu.
Les spermatozoïdes sont produits par les testicules, gonades mâles (fiche 78). Ils sont ensuite pris en charge par les voies génitales auxquelles sont fréquemment associées des glandes exocrines.

Figure 1. L'appareil génital de la *Souris* mâle : des voies génitales prenant en charge les spermatozoïdes formés par les testicules et des glandes exocrines élaborant les composants du sperme (*vue ventrale*) L'appareil génital de la *Souris* mâle est constitué d'organes génitaux appelés gonades, produisant les gamètes. En l'occurrence il s'agit de testicules, masses ovoïdes surmontées de tissu adipeux et situées dans une poche abdominale, le scrotum. Chaque testicule est longé par un canal, l'épididyme. Son extrémité proximale est dilatée et porte le nom de tête ; il en va de même de sa partie distale, appelée queue. En revanche sa région centrale est filiforme et constitue le corps. L'épididyme est ouvert dans un conduit, le spermiducte. Dans la région de la vessie, dorsalement, les spermiductes droit et gauche convergent en un canal impair débouchant dans l'urètre. À partir de ce point, le canal devient mixte et achemine les spermatozoïdes d'une part et l'urine d'autre part. Il prend le nom d'urospermiducte, chemine dans le pénis et est ouvert sur l'extérieur par un orifice urogénital (fiche 85). Épididymes, spermiductes et urospermiducte correspondent aux voies génitales, qui acheminent les spermatozoïdes des testicules vers l'orifice urogénital. Des glandes exocrines sont présentes le long des voies génitales. Dans la région de la vessie, il s'agit de deux vésicules séminales en forme de crosse, de deux glandes coagulantes logées dans la courbure des précédentes, et de deux prostates, dorsale et ventrale (fiche 85). Elles élaborent les composants du sperme.

Figure 2. L'épididyme de la *Souris* mâle : un site de maturation, conduit acheminant les spermatozoïdes vers le spermiducte (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez les Mammifères, les spermatozoïdes formés dans le testicule passent dans l'épididyme, transitant par de petits canaux. L'épididyme est un long tube pelotonné, emballé dans une enveloppe conjonctive. Sa lumière est bordée par un épithélium pseudostratifié prismatique dont les cellules portent des stéréocils apicaux. Une tunique de tissu conjonctif l'entoure, puis une tunique de fibres musculaires lisses.
L'épididyme est un site d'accumulation et de maturation des spermatozoïdes, qui y acquièrent leur mobilité. Les contractions des fibres de la tunique musculeuse sont responsables de la progression des spermatozoïdes vers le spermiducte.

Figure 3. Le spermiducte de la *Souris* mâle : un canal acheminant les spermatozoïdes vers l'urospermiducte (*coupe transversale, microscope photonique*) Le spermiducte des Mammifères comme la *Souris* reçoit les spermatozoïdes de l'épididyme. Il s'agit d'un tube souple dont la paroi forme des replis. Elle présente au contact de la lumière un épithélium pseudostratifié à stéréocils, soutenu par du tissu conjonctif. En périphérie, elle comporte une épaisse tunique de fibres musculaires lisses, organisées en trois couches, successivement d'orientations longitudinale, circulaire et longitudinale. La structure histologique du spermiducte est semblable à celle de l'épididyme.
Il est responsable de l'acheminement des spermatozoïdes vers l'urospermiducte, leur progression étant provoquée par la contraction des fibres de la tunique musculeuse.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

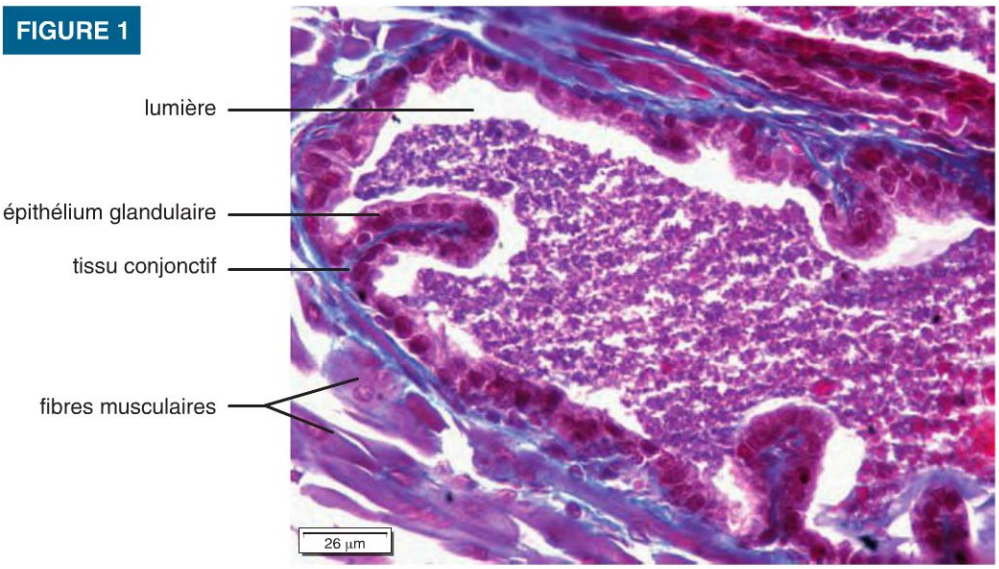


FIGURE 2

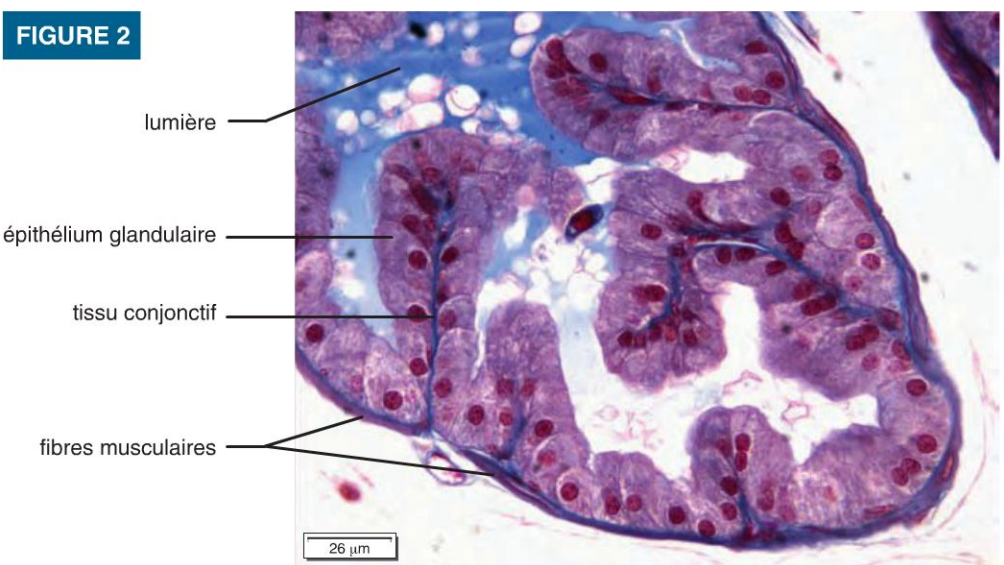
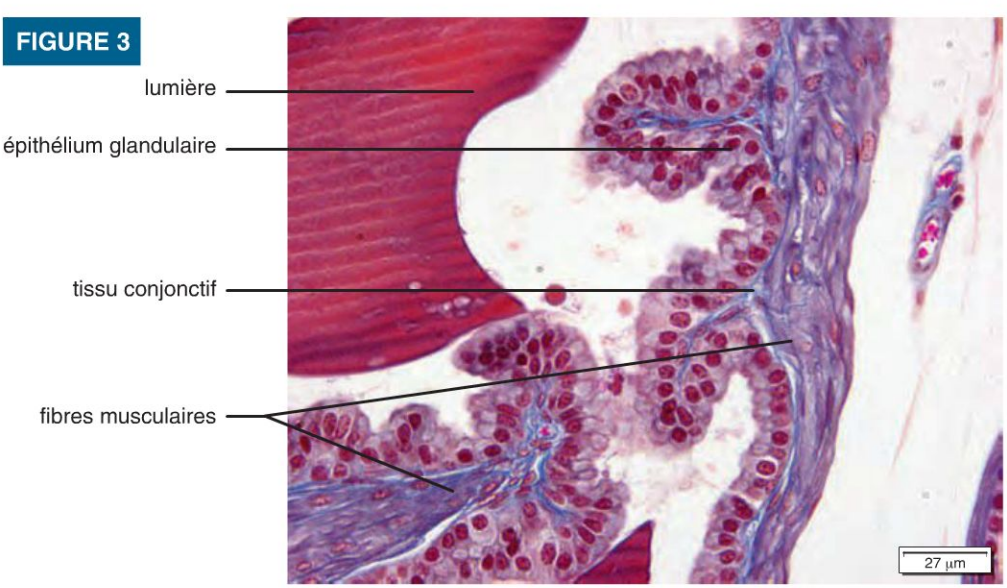


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La formation du sperme : les glandes associées aux voies génitales des Mammifères mâles

fiche 85

Chez les Métazoaires, la reproduction sexuée implique la formation de gamètes haploïdes, spermatozoïdes et ovules, respectivement mâles et femelles. La fécondation consiste en la fusion d'un spermatozoïde et d'un ovule, et donne naissance à une cellule diploïde, le zygote, à l'origine d'un nouvel individu par le processus de développement.
La fécondation suppose un rapprochement puis une rencontre des gamètes mâle et femelle. Chez les Mammifères un liquide séminal contenant les spermatozoïdes, le sperme, est transmis par le mâle à la femelle à la faveur d'un accouplement. Ses composants sont synthétisés par des glandes exocrines associées aux voies génitales et constituent un milieu favorable à la survie des spermatozoïdes (fiche 84). La fécondation intervient dans l'organisme femelle au sein de l'oviducte, elle est qualifiée d'interne.

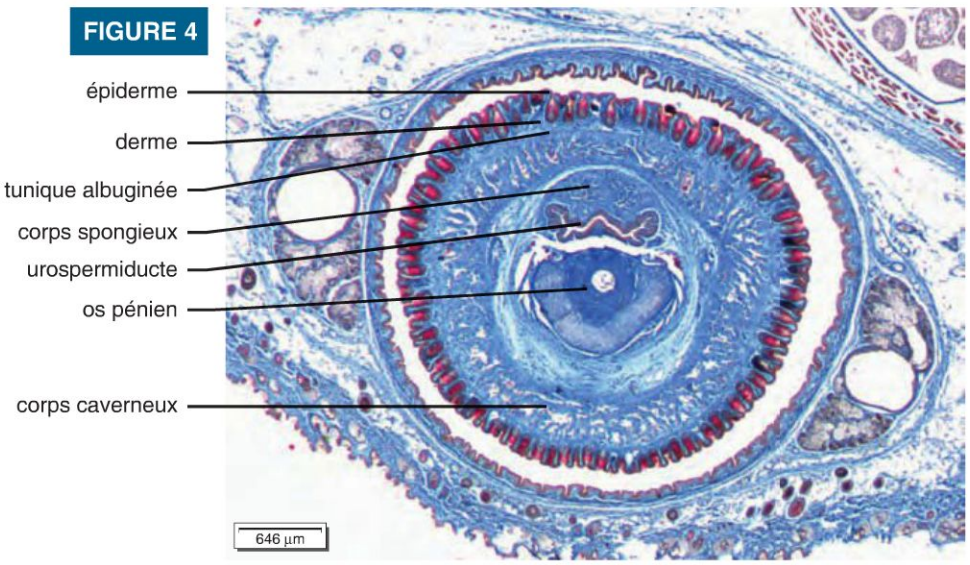
Figure 1. La vésicule séminale de la *Souris* mâle : une glande exocrine élaborant des constituants du sperme (*coupe longitudinale, microscope photonique*) Chez la *Souris*, la vésicule séminale présente une paroi plissée et une lumière irrégulière. Elle est bordée par un épithélium pseudostratifié cubique à prismatique, sécréteur, soutenu par une tunique de tissu conjonctif. Une enveloppe formée de fibres musculaires lisses organisées en une couche circulaire interne et une couche longitudinale périphérique les entoure.

Figure 2. La glande coagulante de la *Souris* mâle : une glande exocrine synthétisant des constituants du sperme (*coupe transversale, microscope photonique*) De même que la vésicule séminale, la glande coagulante de la *Souris* possède une paroi formant des replis, délimitant une lumière irrégulière. Bordant la lumière, l'épithélium sécréteur est pseudostratifié, cubique à prismatique, entouré de fines tuniques, successivement conjonctive et musculaire lisse.

Figure 3. La prostate de la *Souris* mâle : une glande exocrine produisant des constituants du sperme (*coupe transversale, microscope photonique*) La paroi de la prostate de la *Souris* forme des replis de divers ordres. Elle présente au contact de la lumière un épithélium pseudostratifié cubique à prismatique constitué de cellules sécrétrices. Il repose sur une couche de tissu conjonctif et l'ensemble est entouré d'une tunique musculaire relativement épaisse.
Les produits synthétisés par les vésicules séminales, les glandes coagulantes et les prostates sont libérés dans l'urospermiducte, leur expulsion étant favorisée par les contractions des fibres musculaires présentes dans la paroi de ces glandes.

Figure 4. Le pénis de la *Souris* mâle : un organe de transfert des spermatozoïdes à la femelle (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez la *Souris*, les glandes de l'appareil génital déversent les produits qu'elles élaborent dans l'urospermiducte où ils baignent les spermatozoïdes, formant le sperme. Son introduction dans les voies génitales femelles est réalisée grâce au pénis, organe érectile présentant des corps caverneux et un os pénien.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

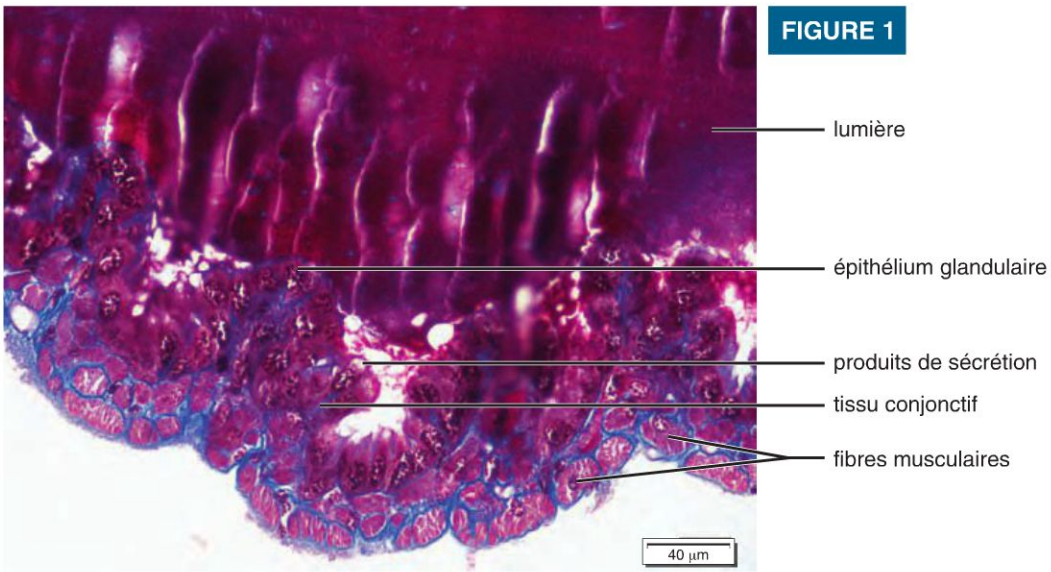


FIGURE 2

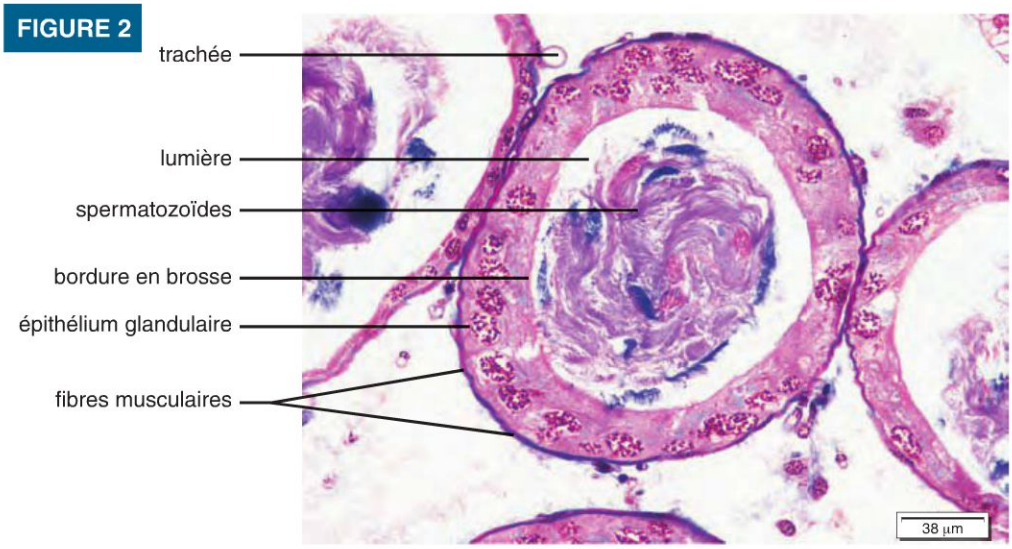
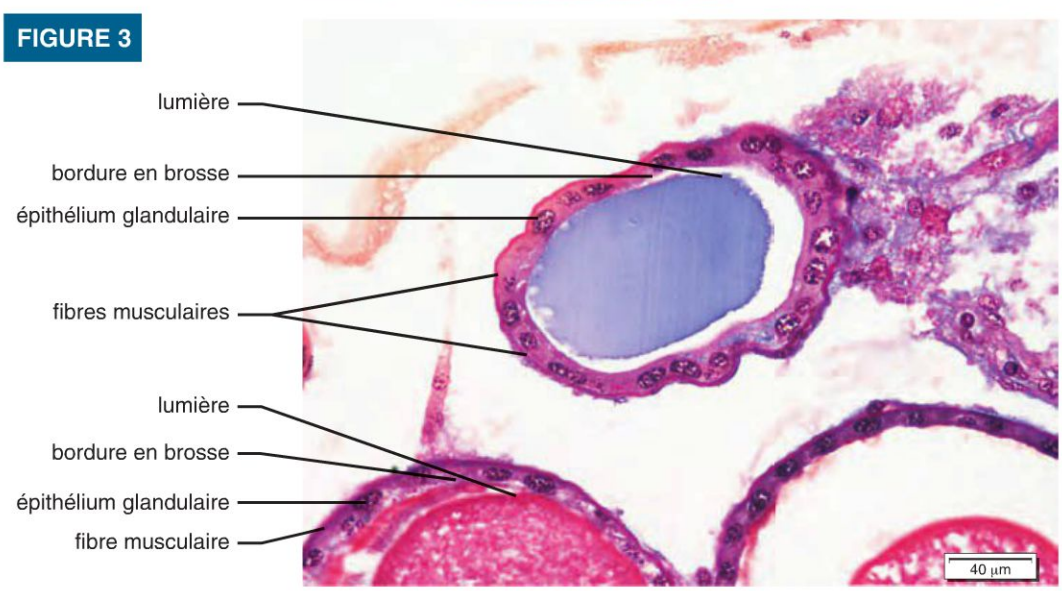


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le transfert des gamètes : les voies génitales et les glandes associées des Insectes

fiche 86

Chez les Métazoaires, la reproduction sexuée implique la formation de cellules sexuelles haploïdes, les gamètes. Elles sont produites par des organes génitaux, les gonades. Ainsi, les femelles possèdent des ovaires à l'origine des ovules, et les mâles des testicules engendrant des spermatozoïdes. Les gamètes femelles et mâles fusionnent par le processus de fécondation, donnant naissance à la première cellule d'un nouvel individu, le zygote.
Chez les Insectes, la fécondation est interne, réalisée à l'intérieur de l'organisme femelle, les spermatozoïdes lui étant généralement transmis par le mâle à l'occasion d'un accouplement. Des œufs sont alors émis dans le milieu. Le développement se déroule à l'extérieur de l'organisme femelle au sein d'enveloppes protectrices, il relève de l'oviparité. Les appareils génitaux de la femelle et du mâle comportent des voies génitales permettant l'acheminement des gamètes et leur stockage, ainsi que des glandes dont les sécrétions contribuent à la protection des gamètes et des œufs.

Figure 1. L'oviducte du *Criquet* femelle : un site de fécondation et un conduit sécréteur acheminant les œufs (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez les Insectes comme le *Criquet*, chaque ovaire est en continuité avec un oviducte. Les oviductes droit et gauche convergent et débouchent dans un vagin impair ouvert sur une chambre génitale communiquant avec l'extérieur par l'orifice génital. La région antérieure des oviductes comporte des glandes accessoires. Une spermathèque est également présente, reliée à la chambre génitale par un court conduit.
La paroi des oviductes forme des replis. Au contact de la lumière, elle est constituée d'un épithélium simple et prismatique, sécréteur. Il est associé à du tissu conjonctif et l'ensemble est entouré d'une tunique de fibres musculaires relativement épaisse. Les ovaires produisent des ovules enveloppés d'un chorion. Ils sont pris en charge par les oviductes où a lieu la fécondation. Les substances produites par leurs cellules sont impliquées dans la formation d'une coque protectrice appelée oothèque, déposée autour des œufs fécondés mais aussi dans la production de substances adhésives responsables de l'agglutination des œufs ou de leur adhérence au substrat sur lequel ils sont déposés. Les œufs transitent ensuite par le vagin et sont émis dans le milieu par un processus d'oviposition.
La spermathéque possède pour sa part une paroi tapissée de cuticule, comportant des cellules glandulaires et des fibres musculaires externes. Elle permet le stockage des spermatozoïdes reçus du mâle.

Figure 2. La vésicule séminale du *Criquet* mâle : une poche de stockage des spermatozoïdes (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez le *Criquet* mâle, chaque testicule est drainé par un spermiducte. Les deux spermiductes débouchent dans un canal éjaculateur impair. Des glandes accessoires complètent l'appareil génital, représentées par des tubes contournés agglomérés en deux masses ovoïdes et ouverts sur le canal éjaculateur. Chaque groupe de glandes accessoires englobe une vésicule séminale formée d'un tube terminé par une dilatation sphérique.
La paroi des vésicules séminales est constituée d'un épithélium simple prismatique et sécréteur, dont les cellules possèdent une bordure en brosse. Il est entouré d'une tunique de fibres musculaires.
À la sortie des testicules, les spermatozoïdes sont pris en charge par les spermiductes. Ils passent ensuite dans les vésicules séminales, où ils sont temporairement stockés avant d'être acheminés vers le canal éjaculateur bordé d'une cuticule.

Figure 3. La glande accessoire du *Criquet* mâle : une glande exocrine élaborant les composants des spermatophores (*coupe transversale, microscope photonique*) Les glandes accessoires débouchent dans la région antérieure du canal éjaculateur. En forme de tubes, elles possèdent une paroi constituée d'un épithélium simple cubique et sécréteur, entouré de fibres musculaires.
Les glandes accessoires élaborent les composants des spermatophores. À l'issue de leur séjour dans les vésicules séminales, les spermatozoïdes sont agglomérés et englobés dans des enveloppes, l'ensemble constituant des spermatophores. Le plus souvent, ces structures sont transmises aux femelles à l'aide de l'organe copulateur à la faveur de l'accouplement.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

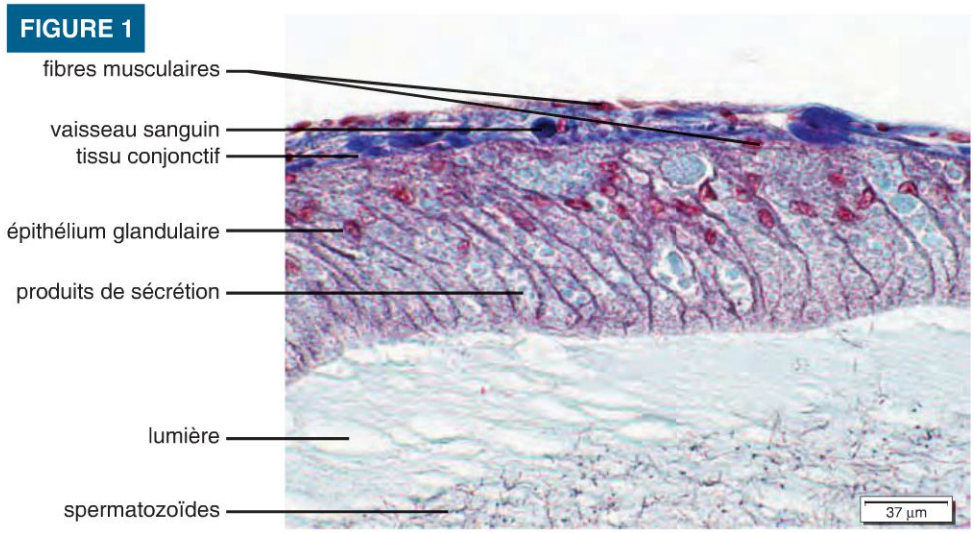


FIGURE 2

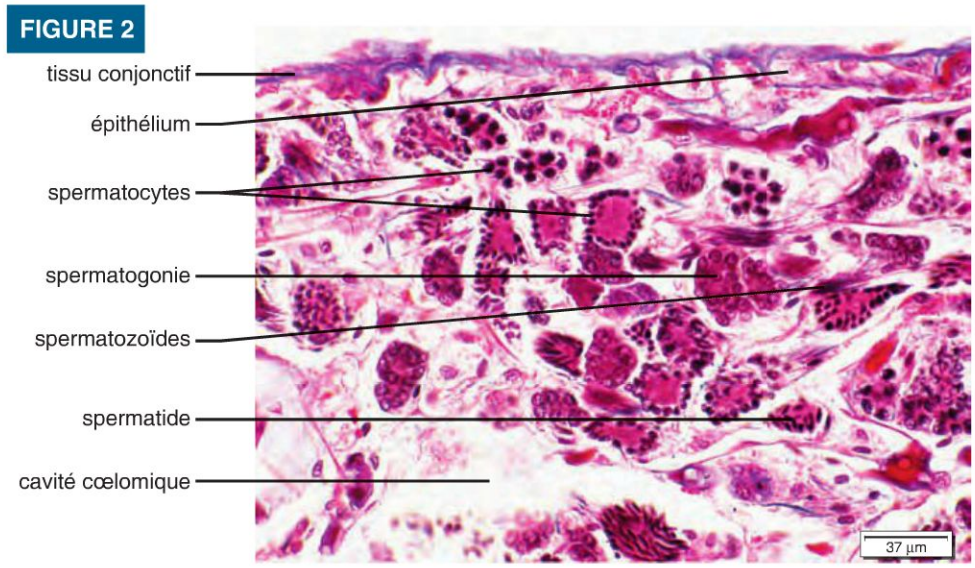
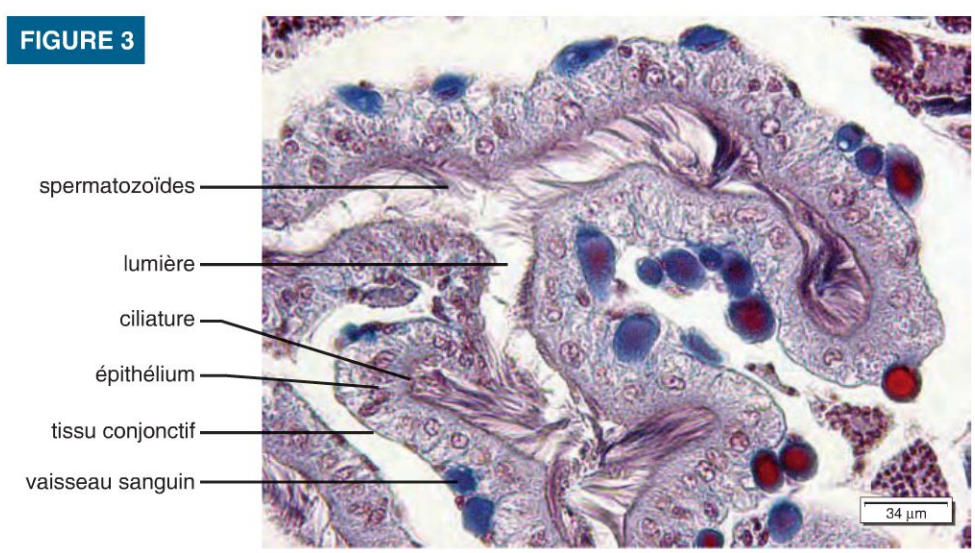


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Le transfert des gamètes chez les animaux hermaphrodites : les voies génitales du *Lombric*

fiche 87

Chez les Métazoaires, la reproduction sexuée implique la formation de gamètes femelles et de gamètes mâles. Deux catégories d'espèces sont distinguées : les espèces gonochoriques représentées par des individus femelles ou mâles produisant un unique type de gamètes, et les espèces hermaphrodites composées d'individus formant les deux types de gamètes (fiches 77 à 80).
Le *Lombric* est un animal hermaphrodite pratiquant la fécondation croisée. Elle concerne des gamètes produits par des individus différents. Ils sont échangés à la faveur d'un accouplement réalisé au sein d'un manchon muqueux dans lequel les partenaires sont accolés par la face ventrale, orientés tête-bêche. Un transfert de spermatozoïdes est effectué. Chaque partenaire produit alors un tube muqueux où il dépose ses ovules et les spermatozoïdes reçus. La fécondation est externe, réalisée dans le tube.

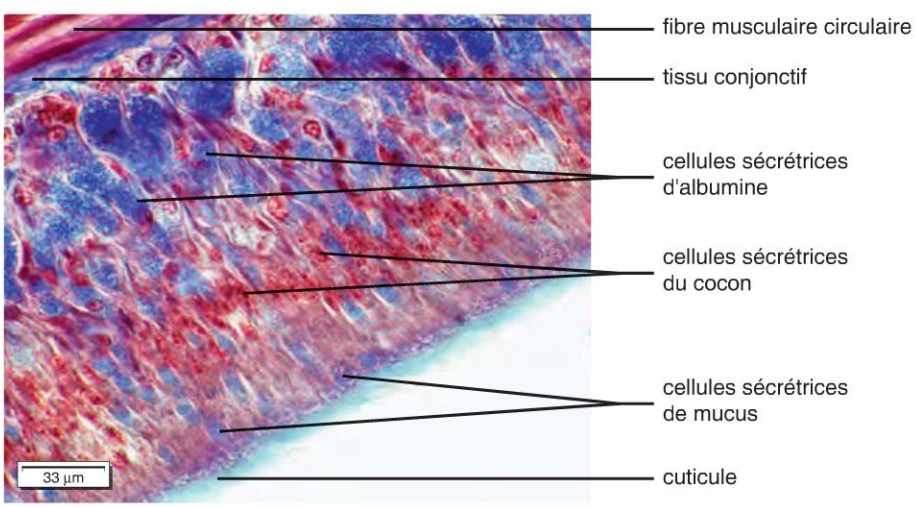
Figure 1. La spermathèque du *Lombric* : une poche sécrétrice et de stockage des spermatozoïdes (*coupe transversale, microscope photonique*) La portion femelle de l'appareil génital comporte quatre spermathèques, ouvertes sur l'extérieur aux limites des métamères 9-10 et 10-11 (fiche 80). Leur paroi est formée d'un épithélium simple prismatique et sécréteur, reposant sur du tissu conjonctif entouré de fibres musculaires. Elles contiennent les spermatozoïdes reçus lors de l'accouplement, qui y sont stockés pendant la maturation des ovules.

Figure 2. La vésicule séminale du *Lombric* : une poche dans laquelle les spermatogonies évoluent en spermatozoïdes (*coupe transversale, microscope photonique*) La portion mâle de l'appareil génital comprend trois paires de vésicules séminales (fiche 80). Leur paroi est formée d'un épithélium simple cubique soutenu par du tissu conjonctif. Leur lumière contient des groupes de cellules sexuelles à divers stades de la spermatogenèse. Les spermatogonies produites par les testicules passent dans les vésicules séminales et y évoluent en spermatozoïdes.

Figure 3. Le spermiducte du *Lombric* : un conduit acheminant les spermatozoïdes de la vésicule séminale à l'orifice génital (*coupe transversale, microscope photonique*) Deux spermiductes conduisent les spermatozoïdes issus des vésicules séminales vers les orifices génitaux mâles localisés sur le métamère 15 (fiche 80). Leur lumière est bordée d'un épithélium simple, prismatique et cilié, entouré d'une tunique de tissu conjonctif. Lors de l'accouplement les orifices génitaux mâles sont accolés aux orifices des spermathèques du partenaire. Les spermatozoïdes sont transférés des spermiductes d'un individu aux spermathèques de l'autre.

Figure 4. Le clitellum du *Lombric* : une région glandulaire de l'épiderme impliquée dans la reproduction (*coupe transversale, microscope photonique*) Les métamères 32 à 36-37 forment une région renflée (fiche 7), correspondant au clitellum. L'épiderme y est principalement constitué de cellules sécrétrices. Le clitellum joue des rôles essentiels dans la reproduction : il produit le manchon muqueux au sein duquel est réalisé l'accouplement et élabore le tube muqueux dans lequel est effectuée la fécondation. Ses cellules synthétisent également l'albumine, substance de réserve déposée dans les œufs, et l'enveloppe du cocon, coque chitineuse protectrice des œufs.

FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

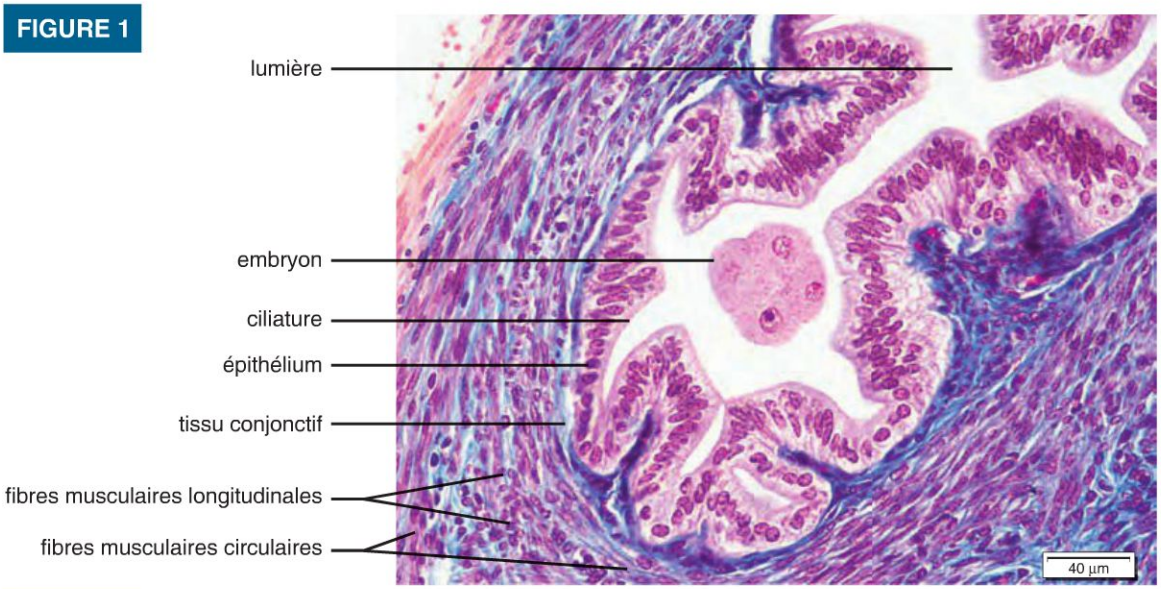


FIGURE 2

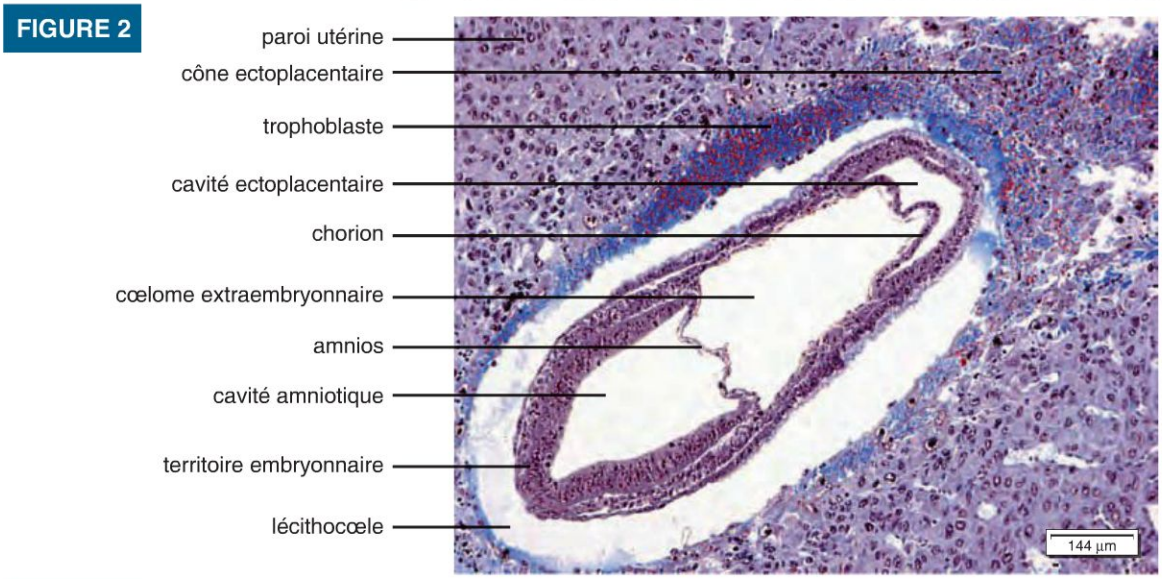
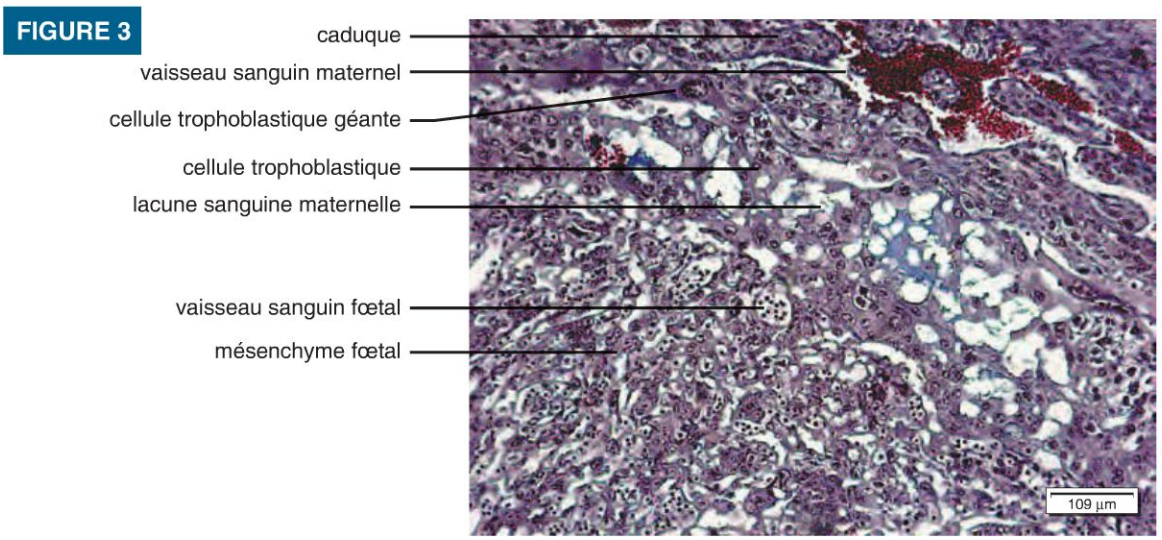


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

La viviparité des Mammifères : la fécondation, l'implantation et le placenta

fiche 88

Chez les animaux, la reproduction sexuée implique généralement une fécondation, fusion d'un gamète femelle et d'un gamète mâle. Elle est à l'origine d'un zygote, première cellule d'un nouvel individu. L'évolution du zygote en individu adulte constitue le développement.
Le développement correspond à la mise en place du plan d'organisation caractéristique de l'espèce et se présente comme une combinaison de divers processus cellulaires étroitement coordonnés, notamment des multiplications, morts, différenciations et migrations. Il est généralement divisé en plusieurs étapes. Ces phénomènes nécessitent matière et énergie, et produisent des déchets. Les conditions dans lesquelles le développement est réalisé varient avec les espèces et déterminent des modalités différentes pour les apports et éliminations liés au métabolisme de l'individu en développement.
Chez les Mammifères, le développement est en grande partie réalisé au sein des voies génitales de la femelle. Des échanges de matière et d'énergie sont effectués entre la femelle et l'individu en développement. Ce type de conditions est appelé viviparité. Il implique la formation d'organes temporaires spécialisés dans la mise en œuvre d'échanges entre mère et embryon.
Il est opposé à l'oviparité dans laquelle le développement est réalisé hors de l'organisme femelle, au sein d'un œuf déposé dans le milieu.

Figure 1. Le stade morula du développement embryonnaire de la *Souris* : une multiplication des cellules de l'embryon au sein de la zone pellucide (*coupe transversale, microscope photonique*)
Chez les Mammifères comme la *Souris*, la fécondation est réalisée dans l'oviducte de la femelle. Elle conduit à la formation d'une cellule œuf, le zygote, entouré de la zone pellucide.
Le zygote subit des divisions cellulaires alors qu'il transite dans l'oviducte, et est transformé en embryon pluricellulaire. Les cellules embryonnaires prennent le nom de blastomères et sont dans un premier temps agencées en une masse rappelant une petite mûre. L'embryon prend le nom de morula. Toujours entouré de la zone pellucide, il conserve le même volume que le zygote.

Figure 2. L'embryon implanté de la *Souris* : une structuration de l'embryon et un ancrage dans l'utérus (*coupe transversale 8 jours après la fécondation, microscope photonique*) Chez la *Souris*, le développement se poursuit dans l'utérus avec le creusement d'une cavité dans l'embryon. Il est alors appelé blastocyste et comporte une couche de cellules périphérique, le trophoblaste, ainsi qu'une masse cellulaire globuleuse, le bouton embryonnaire. Il est libéré de la zone pellucide, et dès lors son volume augmente.
L'édification du nouvel individu est réalisée à partir du bouton embryonnaire, de même que la mise en place de diverses structures extraembryonnaires. Il est progressivement structuré en un territoire embryonnaire associé à des annexes, amnios et chorion. De nouvelles cavités sont creusées, comme la cavité amniotique, le lécithocœle et la cavité ectoplacentaire.
Le trophoblaste est quant à lui impliqué dans l'implantation de l'embryon dans la paroi de l'utérus et l'établissement des relations avec la mère. Il érode la muqueuse utérine et édifie un cône au niveau duquel se développe le placenta.

Figure 3. Le placenta du *Chat* : un organe mixte, support des échanges entre le fœtus et la mère (*coupe transversale, microscope photonique*) Chez le *Chat*, à l'instar de la plupart des Mammifères, alors que le développement se poursuit, le trophoblaste lyse l'épithélium de l'endomètre utérin auquel il est accolé et atteint le tissu conjonctif sous-jacent.
À terme, la paroi des vaisseaux sanguins maternels disparaît et le sang est déversé dans des lacunes. Seuls le trophoblaste, le tissu conjonctif et la paroi des vaisseaux sanguins du fœtus séparent les sangs fœtal et maternel. Le placenta est en conséquence 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 parturition.
La proximité des sangs fœtal et maternel autorise les échanges de substances, ainsi le fœtus reçoit de sa mère des substances nutritives et du dioxygène, en particulier.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

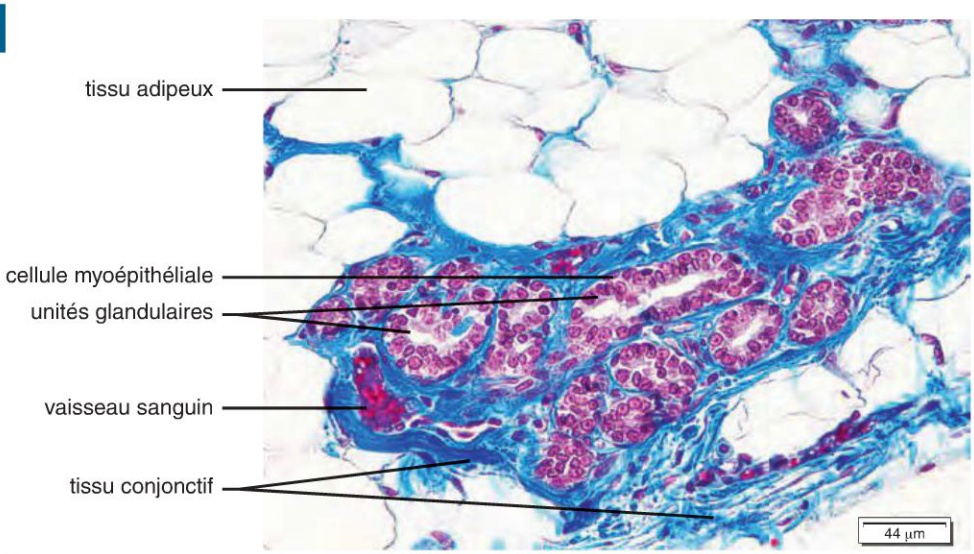


FIGURE 2

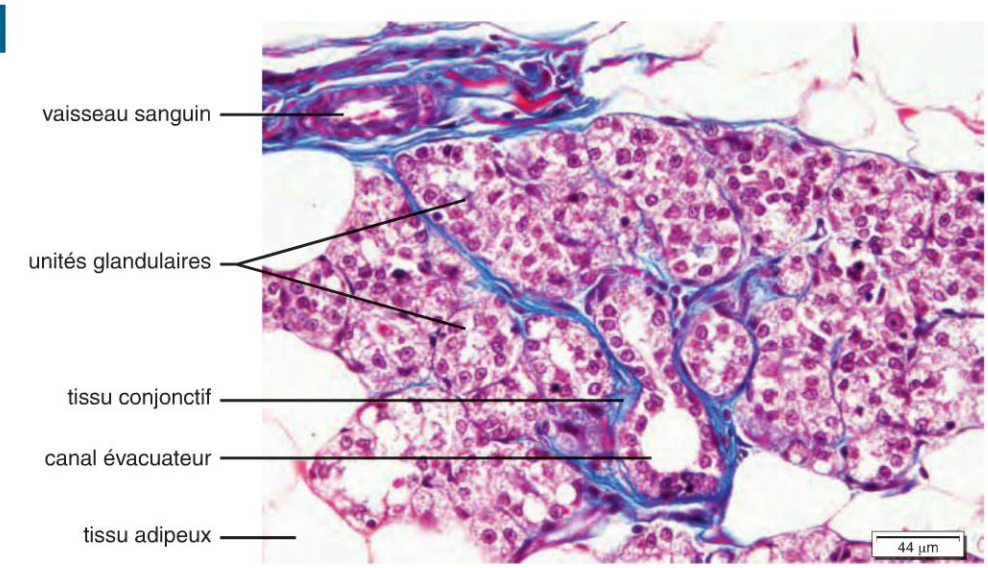
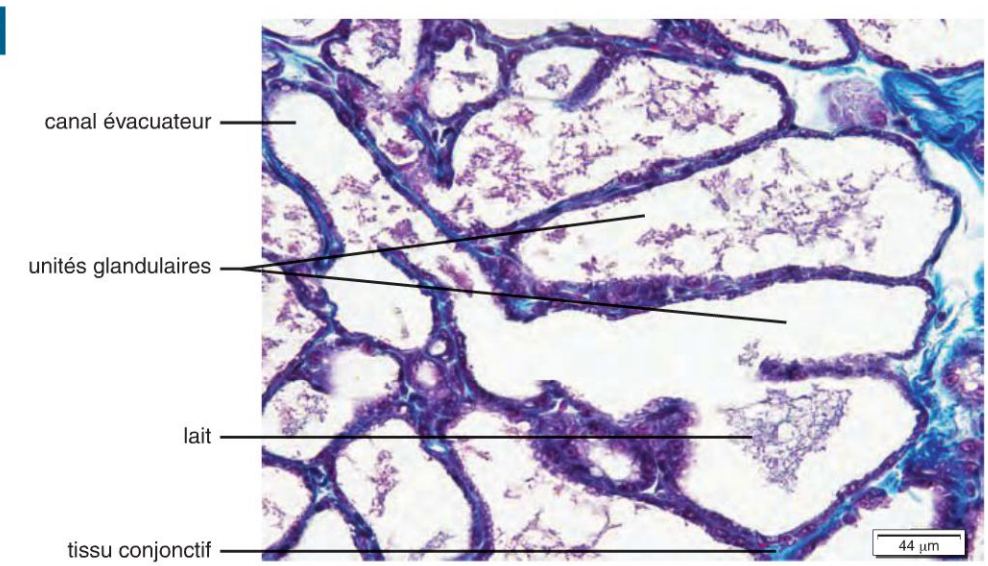


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

L'alimentation du nouveau-né : les glandes mammaires des Mammifères

fiche 89

La fonction de reproduction consiste en la production d'une descendance. Lorsqu'elle est réalisée par voie sexuée, elle implique la formation de cellules sexuelles de types complémentaires, les gamètes, dont la fusion ou fécondation, est à l'origine des descendants.
Bien que s'exprimant de manières diverses du point de vue de la gamétogenèse, de la fécondation et des conditions de développement, la fonction de reproduction s'appuie de manière générale sur les fonctions de nutrition, de relation et d'intégration des individus parents.
Elles sont mises à profit dans l'élaboration et le dépôt des réserves de l'œuf, la réalisation d'échanges avec l'individu en développement, la recherche du partenaire, la coordination de l'émission des gamètes, le contrôle des processus impliqués.
Dans de nombreux cas, la mobilisation des parents se prolonge au-delà de la vie embryonnaire. Ainsi les femelles de Mammifères produisent un lait qui alimente leurs jeunes.

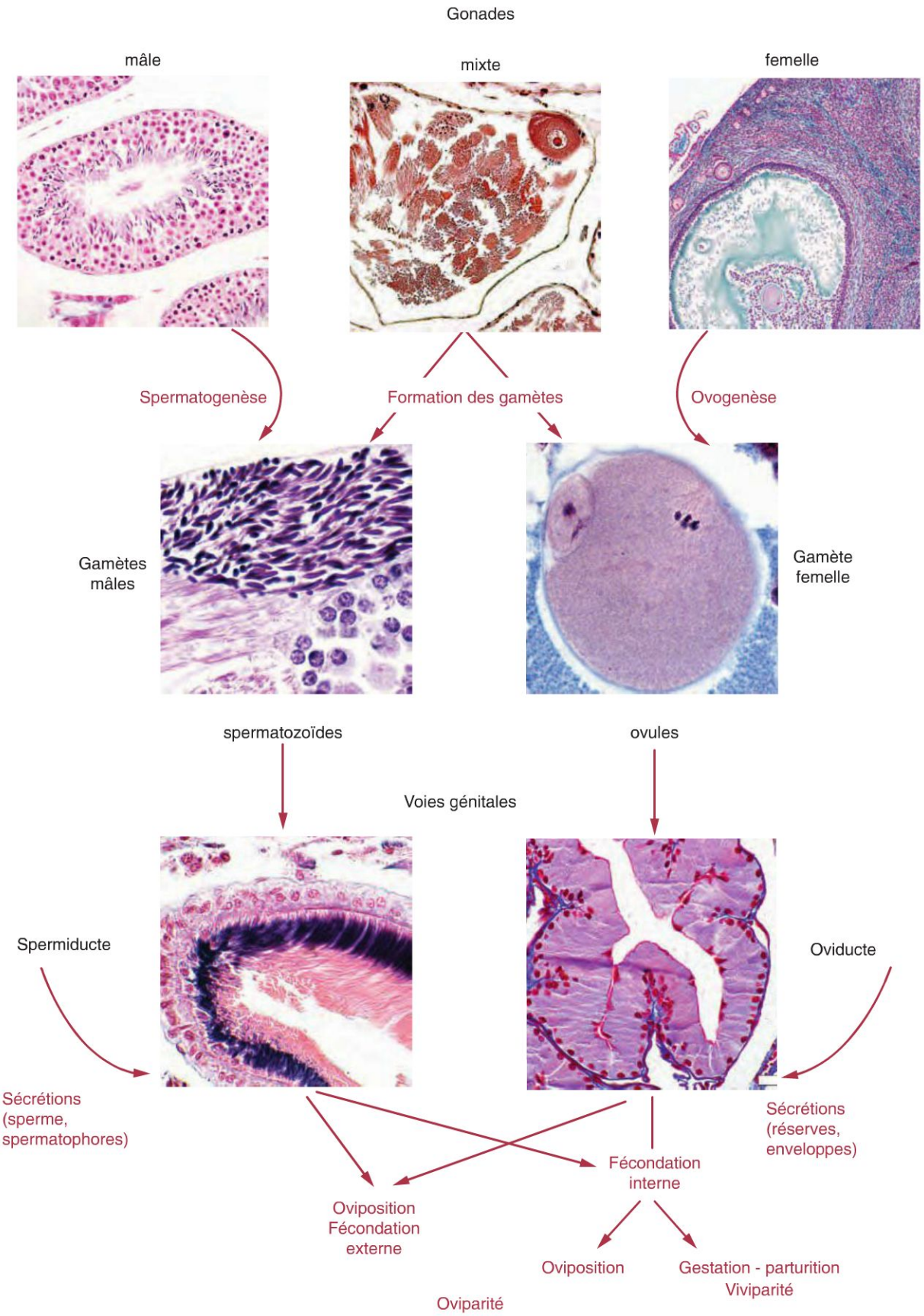
Figure 1. La glande mammaire de la *Rate* au repos : une glande exocrine dérivée d'une glande cutanée (*coupe transversale, microscope photonique*) La glande mammaire est formée de lobules délimités par du tissu conjonctif fibreux abondant et entourés de tissu adipeux. Constitués d'unités glandulaires nombreuses bordées par des cellules myoépithéliales, ils sont drainés par des canaux évacuateurs ramifiés.
Il s'agit d'une glande composée alvéolaire, issue de l'évolution d'une glande cutanée.
En période d'activité reproductrice mais hors gestation et lactation, les glandes mammaires apparaissent riches en tissus conjonctif fibreux et adipeux. Les unités glandulaires sont peu développées et prennent la forme de tubes, leur lumière est réduite et les cellules sécrétrices cubiques qui les bordent sont peu actives.

Figure 2. La glande mammaire de la *Rate* en gestation : une prolifération des unités sécrétrices (*coupe transversale, microscope photonique*) Au cours de la gestation, sous contrôle hormonal, les unités glandulaires prolifèrent et acquièrent la forme d'alvéoles. Progressivement, le volume des lobules sécréteurs augmente, aux dépens du tissu conjonctif fibreux et du tissu adipeux. Les cellules sécrétrices deviennent actives, et accumulent les substances qu'elles synthétisent dans leur cytoplasme.
Au terme de la gestation, les alvéoles sécrétrices produisent un liquide riche en protéines, le colostrum.

Figure 3. La glande mammaire de la *Rate* en lactation : une dilatation des unités sécrétrices (*coupe transversale, microscope photonique*) En période de lactation la glande mammaire est principalement constituée d'alvéoles glandulaires. Le tissu conjonctif fibreux forme de fines cloisons et le tissu adipeux est réduit. La lumière des alvéoles est dilatée et chargée de lait, produit élaboré et déversé par les cellules sécrétrices, et dont est nourri le nouveau-né.

Copyright © 2015 Dunod.

5 La reproduction : de la gamétogenèse au développement des descendants



Copyright © 2015 Dunod.

Unité et diversité de la reproduction sexuée des animaux

fiche 90

Les organismes animaux sont capables de donner naissance à de nouveaux individus leur ressemblant, processus correspondant à la fonction de reproduction.
La reproduction sexuée implique la formation de cellules reproductrices femelles et mâles, les gamètes. Elle fait intervenir une division cellulaire non conforme, la méiose, conduisant par réduction chromosomique à des gamètes haploïdes. La fusion des gamètes ou fécondation est à l'origine d'une cellule œuf, le zygote, première cellule du nouvel organisme. Sa garniture chromosomique résulte de la combinaison des garnitures des gamètes ; la fécondation, complémentaire de la méiose, permet de rétablir la diploïdie.

Les appareils génitaux des animaux adultes comportent des gonades femelles (ovaires) et/ou mâles (testicules), voire mixtes (ovotestis), au sein desquelles a lieu la formation des gamètes ou gamétogenèse, divisée en stades successifs correspondant aux étapes de la méiose (fiches 77 à 80). Les cellules sexuelles originelles sont dites ovogonies ou spermatogonies. Au début de leur évolution, elles prennent le nom d'ovocytes ou spermatocytes I. La première division de méiose les transforme en ovocytes ou spermatocytes II et la seconde division méiotique en ovotides ou spermatides (fiches 81, 82).

Les voies génitales acheminent les gamètes. Les glandes qui leur sont associées produisent des sécrétions nutritives, des réserves et des enveloppes, impliquées dans la survie des gamètes, la fécondation ou le développement du nouvel individu (fiches 83 à 87).
La fécondation des gamètes femelles par les gamètes mâles peut intervenir à l'extérieur de l'organisme, elle est dans ce cas externe. Elle peut se dérouler directement dans le milieu, comme chez la *Néréis* ou la *Grenouille*, ou au sein de dispositifs protecteurs comme chez le *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 (fiches 87). Ce processus devient général chez les animaux à fécondation interne comme les Insectes, les Mammifères, les Oiseaux ou l'*Escargot*. Les gamètes mâles sont le plus souvent transférés dans les voies génitales femelles à l'aide d'organes copulateurs, éventuellement stockés temporairement dans une spermathèque, avant de fusionner avec les gamètes femelles (fiches 84, 86, 87).
Lorsque le développement de l'œuf issu de la fécondation est réalisé à l'extérieur de l'organisme, il y a oviparité. Le développement embryonnaire se déroule à l'intérieur des enveloppes de l'œuf, grâce aux substances accumulées dans l'ovocyte au cours de la gamétogenèse et aux réserves supplémentaires apportées par les voies génitales femelles à l'ovule ou à l'œuf. La durée du développement embryonnaire est souvent corrélée à la quantité de réserves disponibles. Les parents apportent fréquemment des soins à leur ponte. Lorsque l'œuf est conservé au sein de l'organisme femelle et que le développement embryonnaire du nouvel individu implique l'apport de substances diverses par l'organisme maternel, il y a viviparité (fiche 88).

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). 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.
Un second mode de reproduction existe chez les organismes animaux : la reproduction asexuée, processus n'impliquant que des divisions cellulaires conformes ou mitoses (fiches 4, 6). Elle conduit à la formation d'individus génétiquement identiques à leur parent. Elle est exprimée sous des formes diverses comme le bourgeonnement ou la scissiparité et est à l'origine de colonies lorsque les individus qui en sont issus demeurent anatomiquement liés.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

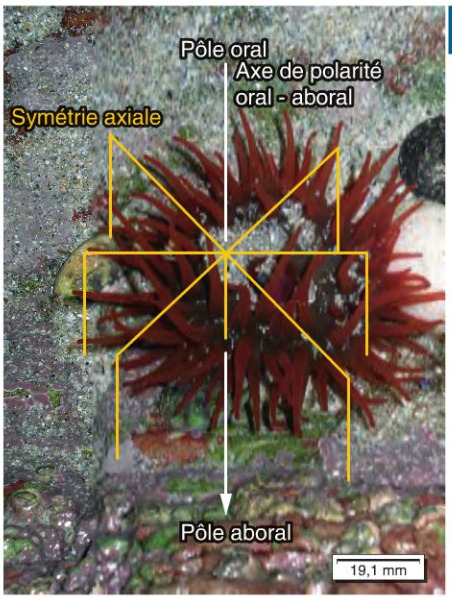


FIGURE 2

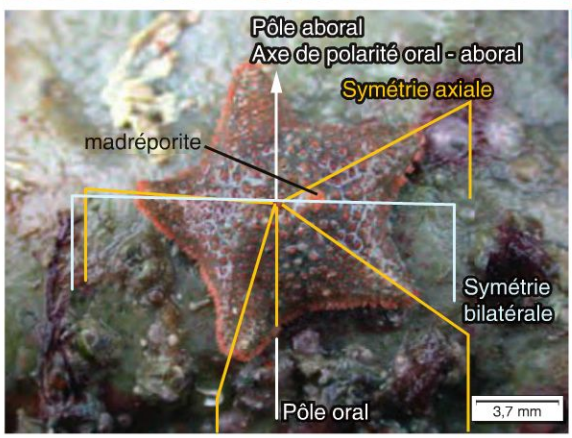


FIGURE 3

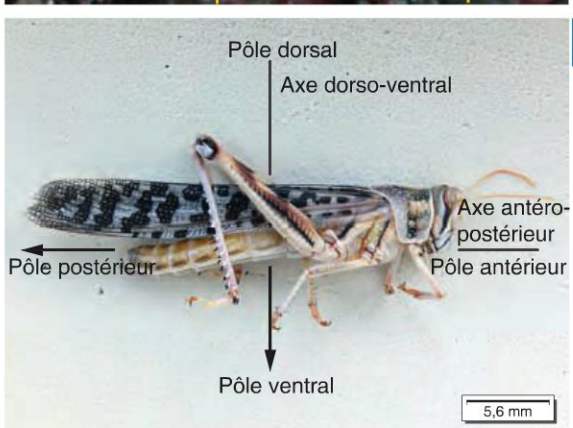


FIGURE 4a

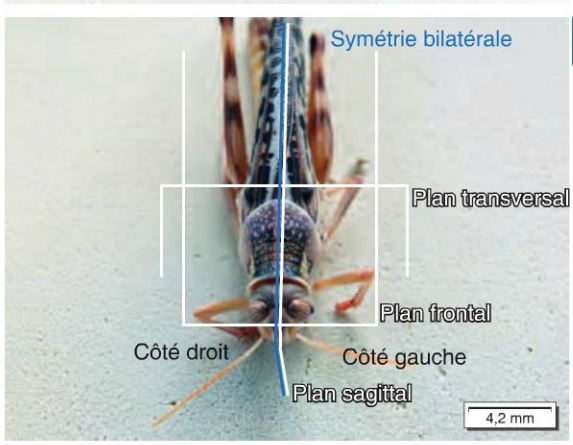


FIGURE 4b

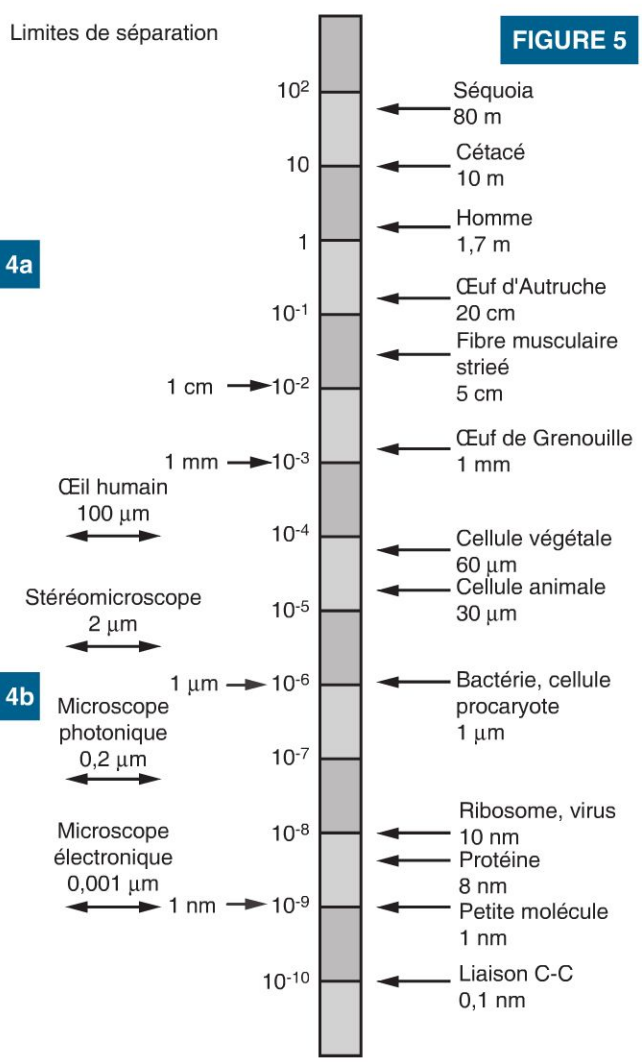


FIGURE 5

Copyright © 2015 Dunod.

Les plans, les axes et les dimensions des animaux

fiche 91

Le plan d'organisation d'un organisme animal est défini comme l'ensemble de ses caractéristiques morphologiques et anatomiques, quel que soit le taxon.
Parmi elles figurent des polarités, se manifestant par une régionalisation des structures corporelles le long d'axes, ainsi que des symétries, répétitions plus ou moins régulières de structures corporelles par rapport à un point (symétrie centrale), un axe (symétrie axiale ou radiaire) ou un plan (symétrie plane ou bilatérale).

Figure 1. L'*Éponge mie de pain* : une absence de polarité et de symétrie Les Porifères ne présentent ni axe de polarité, ni symétrie. Ils peuvent être qualifiées d'asymétriques.

Figure 2. La *Tomate de mer* : une polarité orale-aborale et une symétrie axiale d'ordre pair
Les *Anémones de mer* possèdent un axe de polarité courant de l'ouverture buccale (apex) à la région de fixation sur le substrat (base). Il est dit oral-aboral (ou apico-basal). Les structures corporelles comme les tentacules ou les cloisons de la cavité gastrovasculaire sont répétées autour de cet axe, déterminant une symétrie axiale formée de multiples plans de symétrie. Il en va de même pour les autres formes polypes des Cnidaires, ainsi que pour les formes méduses. Dans le cas particulier des *Anémones de mer*, le nombre de répétitions est un multiple de six, la symétrie est en conséquence dite d'ordre pair.

Figure 3. L'*Astérie bosselée :* une polarité orale-aborale et une symétrie axiale d'ordre impair
Les *Étoiles de mer* présentent un axe de polarité établi entre la bouche, située au contact du substrat, et l'anus, localisé sur la face libre. Il s'agit d'un axe oral-aboral. Les structures corporelles ont une disposition rayonnée autour de cet axe, particulièrement visible pour les bras mais existant également pour les organes internes. Le facteur de répétition de la symétrie axiale ainsi définie est de cinq. La symétrie est dite d'ordre impair, pentaradiée.
La face aborale porte une pièce squelettique appelée madréporite. Il existe un plan incluant l'axe de polarité oral-aboral et la madréporite, de part et d'autre duquel les structures corporelles sont les images dans un miroir les unes des autres. Il correspond à un plan de symétrie bilatérale. Comme les autres Échinodermes, les *Étoiles de mer* possèdent ainsi une symétrie bilatérale superposée à une symétrie pentaradiée.

Figure 4. Le *Criquet* : des polarités antéro-postérieure et dorso-ventrale, une symétrie bilatérale Le plan d'organisation des Insectes comme le *Criquet* est caractérisé par deux axes de polarité courant de la tête à l'avant au dernier segment abdominal à l'arrière d'une part, et du dos matérialisé par les tergites au ventre représenté par les sternites d'autre part. Le premier est qualifié d'antéro-postérieur (ou rostro-caudal) et le second de dorso-ventral. L'animal est allongé selon l'axe antéro-postérieur, qui coïncide avec l'axe longitudinal. Il existe un plan contenant les axes antéro-postérieur et dorso-ventral, de part et d'autre duquel les structures corporelles sont les images les unes des autres dans un miroir. Il détermine une symétrie bilatérale et deux côtés, droit et gauche. Le plan de symétrie bilatérale est médian et longitudinal, il est aussi dit sagittal. Le plan contenant l'axe antéro-postérieur et perpendiculaire au plan sagittal est qualifié de frontal, alors que les plans perpendiculaires à l'axe longitudinal sont dits transversaux.
Concernant les expansions corporelles comme les organes locomoteurs, une polarité proximo-distale est définie, l'extrémité attachée au corps constituant la région proximale et l'extrémité libre, la zone distale. Ces structures héritent par ailleurs des axes de polarité du corps.

Figure 5. Échelle des dimensions des êtres vivants L'échelle des dimensions des objets biologiques s'étend du mètre au nanomètre, de l'organisme aux molécules qui le composent. Selon le niveau d'organisation, les observations peuvent être réalisées à l'œil nu, au stéréomicroscope, au microscope photonique ou au microscope électronique dont les grossissements vont croissant et les limites de séparation diminuant.

Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : identifier et décrire les tissus animaux

FIGURE 1

FIGURE 2

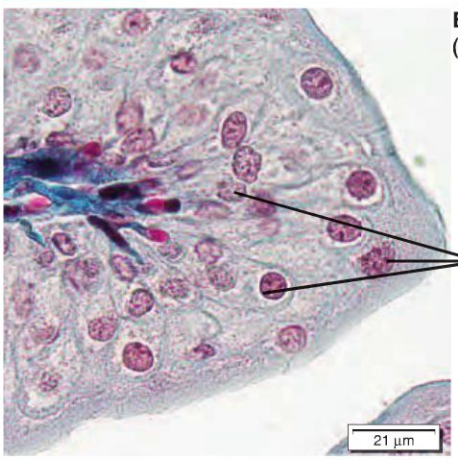


FIGURE 3

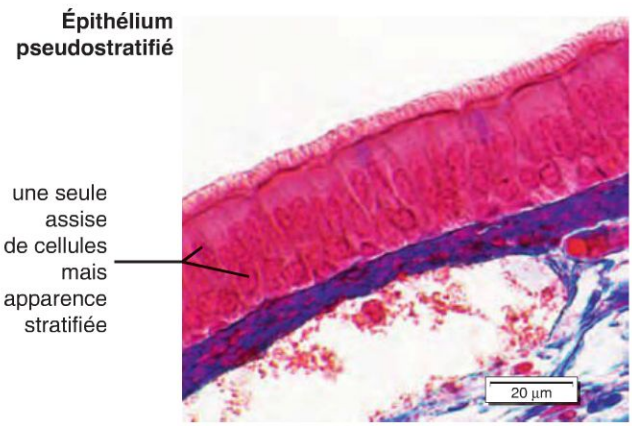


FIGURE 4

FIGURE 5

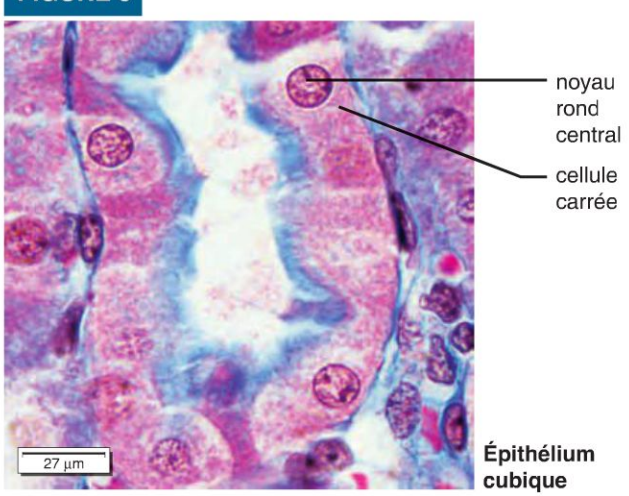
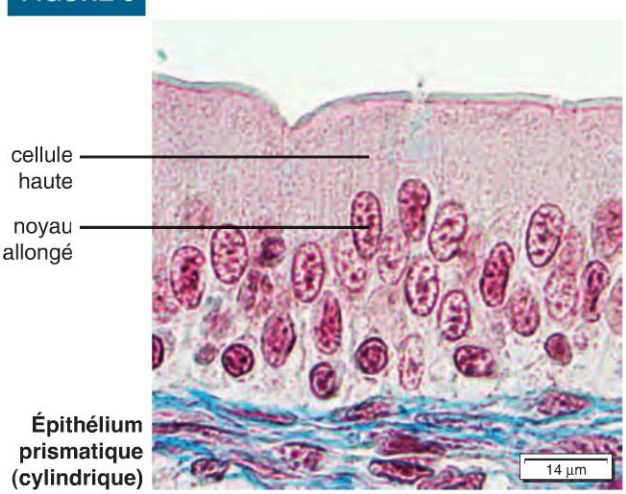


FIGURE 6



Copyright © 2015 Dunod.

Le tissu épithélial de revêtement

fiche 92

Les organes des animaux sont formés de cellules organisées en un nombre limité de tissus, définis comme des ensembles fonctionnels pluricellulaires composés de différents types cellulaires, de morphologies et de propriétés voisines, ayant généralement une origine embryonnaire commune.
Quatre catégories de tissus sont distinguées chez les Métazoaires : les tissus épithélial, conjonctif, musculaire et nerveux.

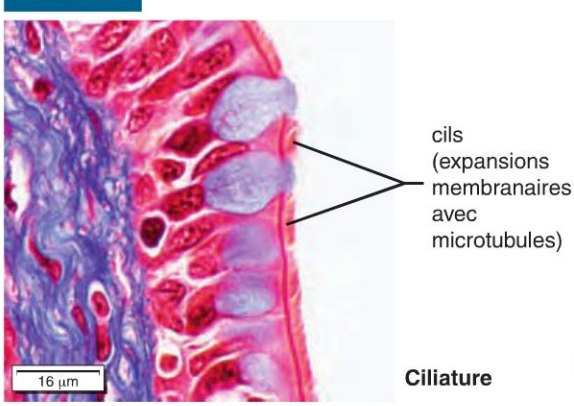
Le tissu épithélial est constitué principalement de cellules, le matériel extracellulaire y est peu abondant. Il repose sur une membrane basale. Les cellules épithéliales sont le plus souvent jointives grâce au développement de jonctions intercellulaires. Deux types de tissus épithéliaux sont distingués en relation avec leurs fonctions.
Le tissu épithélial 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.

Le nombre d'assises cellulaires : épithélium simple, stratifié ou pseudostratifié *Figure 1. Coupe longitudinale d'uretère d'alevin de* Truite *; Figure 2. Coupe transversale d'uretère de* Lapin *; Figure 3. Coupe transversale de trachée de Mammifère.*

La forme des cellules : épithélium pavimenteux, cubique ou prismatique *Figure 4. Coupe transversale de paroi buccale de têtard de* Grenouille *; Figure 5. Coupe transversale de tubule contourné proximal de rein de* Souris *; Figure 6. Coupe transversale d'intestin de* Lapin.
Dans le cas d'un épithélium pluristratifié, la forme des cellules est traditionnellement étudiée sur l'assise cellulaire la plus externe.

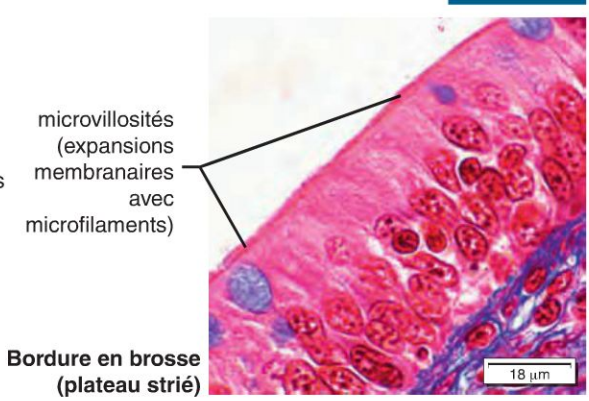
Les différenciations apicales : ciliature, bordure en brosse, stéréocils, couche cornée *Figure 7. Coupe transversale d'œsophage de* Triton *; Figure 8. Coupe transversale d'intestin de* Triton *; Figure 9. Coupe transversale d'épididyme de* Souris *; Figure 10. Coupe transversale d'œsophage de* Souris.

FIGURE 7



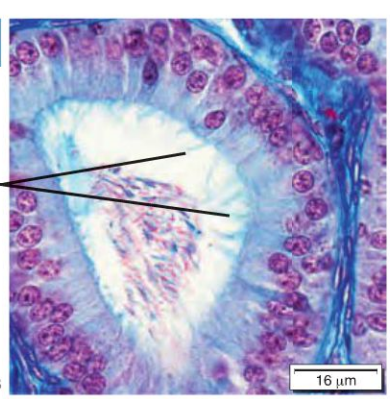
Ciliature

FIGURE 8



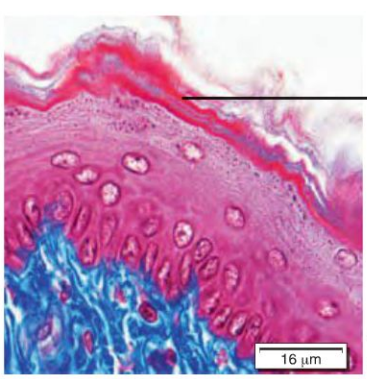
Bordure en brosse (plateau strié)

FIGURE 9



Stéréocils

FIGURE 10

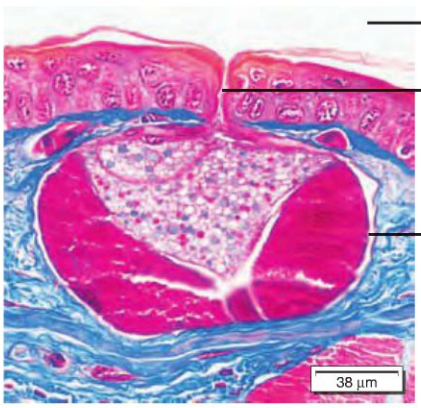


Couche cornée

Copyright © 2015 Dunod.

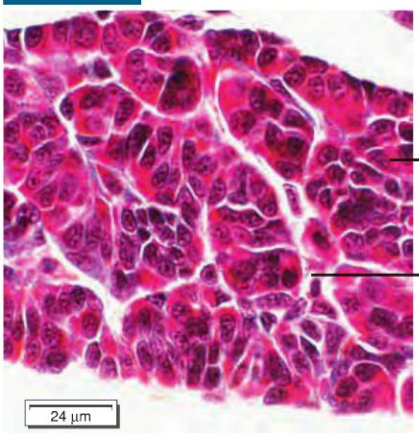
6 Techniques et méthodes : identifier et décrire les tissus animaux

FIGURE 1



Glande exocrine

FIGURE 2



Glande endocrine

FIGURE 3

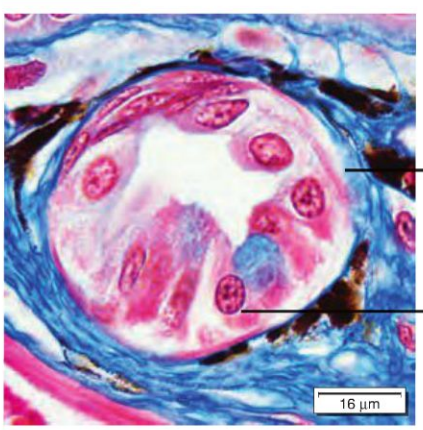


FIGURE 4

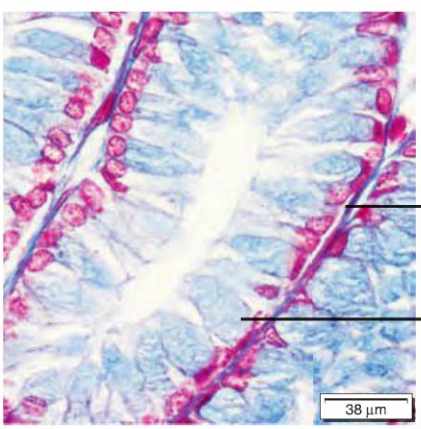
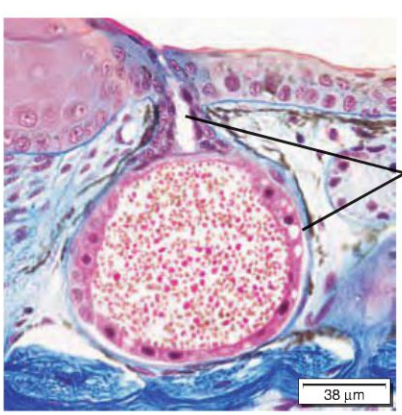
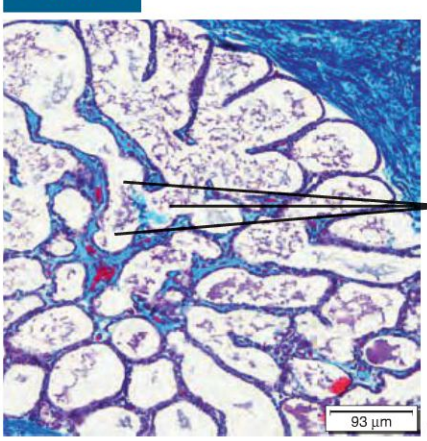


FIGURE 5



Glande simple

FIGURE 7



Glande composée

Copyright © 2015 Dunod.

Le tissu épithélial glandulaire

fiche 93

Les organes des animaux sont formés de cellules organisées en un nombre limité de tissus, définis comme des ensembles fonctionnels pluricellulaires composés de différents types cellulaires, de morphologies et de propriétés voisines, ayant généralement une origine embryonnaire commune.
Quatre catégories de tissus sont distinguées chez les Métazoaires : les tissus épithélial, conjonctif, musculaire et nerveux.

Le tissu épithélial est constitué principalement de cellules, le matériel extracellulaire y est peu abondant. Il repose sur une membrane basale. Les cellules épithéliales sont le plus souvent jointives grâce au développement de jonctions intercellulaires. Deux types de tissus épithéliaux sont distingués en relation avec leurs fonctions.
Le tissu épithélial glandulaire regroupe des cellules spécialisées dans la production et la sécrétion d'une ou plusieurs substances. Il peut être inclus dans des organes ou constituer des unités anatomiques individualisées. La description des glandes est fondée sur des critères fonctionnels et morphologiques.

La voie de sécrétion : glande exocrine ou endocrine *Figure 1. Coupe transversale de tégument de* Triton *; Figure 2. Coupe transversale d'hypophyse de* Grenouille.
Selon le caractère exocrine ou endocrine d'une glande, les éléments pris en compte dans la description diffèrent.

La forme des unités sécrétrices des glandes exocrines : glande acineuse ou tubuleuse *Figure 3. Coupe transversale de tégument de* Grenouille *; Figure 4. Coupe transversale de côlon de* Lapin.

Le nombre d'unités sécrétrices et de canaux des glandes exocrines : glande simple, ramifiée ou composée *Figure 5. Coupe transversale de tégument de* Grenouille *; Figure 6. Coupe transversale d'œsophage de* Poussin *; Figure 7. Coupe transversale de glande mammaire de* Rate.

La forme des unités glandulaires endocrines : glande en massifs et cordons ou en follicules *Figure 8. Coupe transversale de pancréas de* Rat *; Figure 9. Coupe transversale de glande thyroïde de* Grenouille.

FIGURE 6

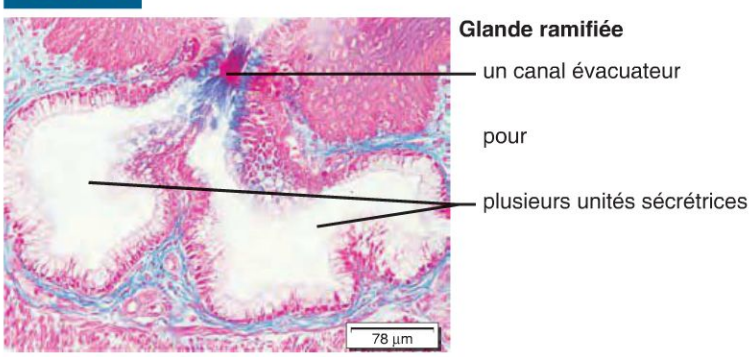


FIGURE 8

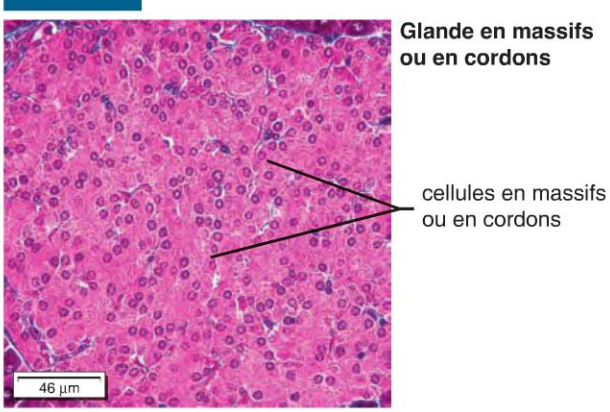
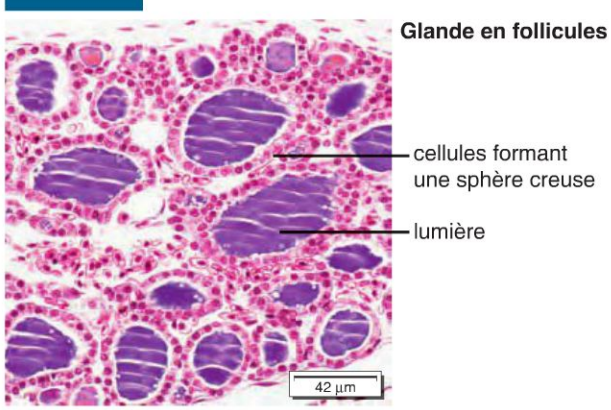


FIGURE 9



Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : identifier et décrire les tissus animaux

FIGURE 1

Tissu conjonctif fibreux lâche

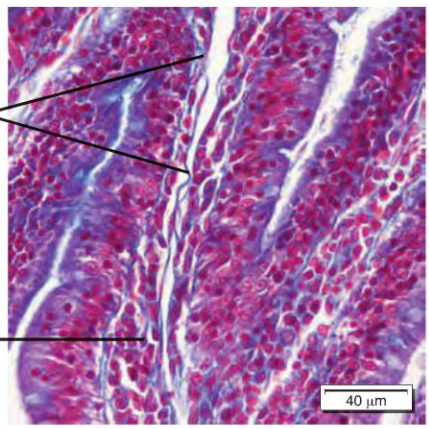


FIGURE 2

Tissu conjonctif fibreux dense

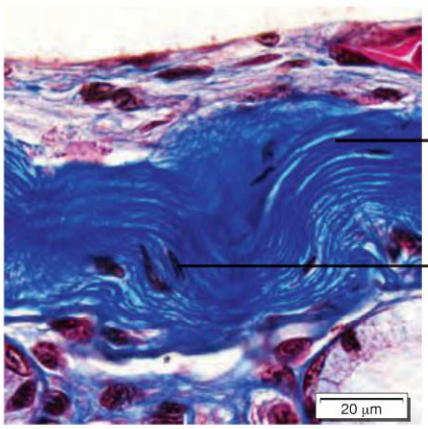


FIGURE 3

Tissu cartilagineux

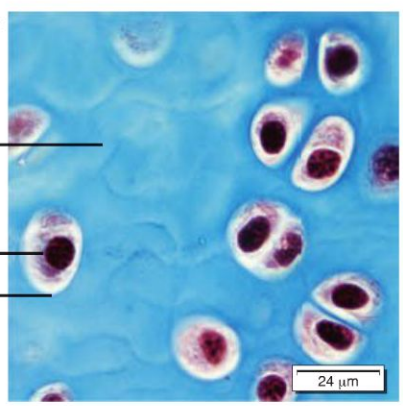


FIGURE 4

Tissu osseux compact

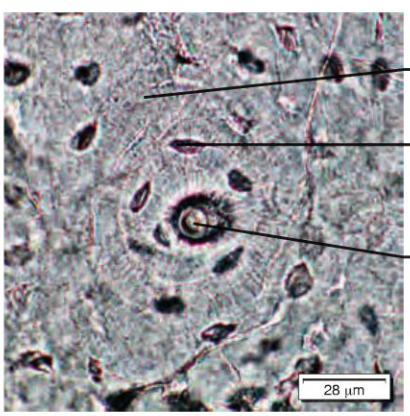


FIGURE 5

Tissu osseux spongieux

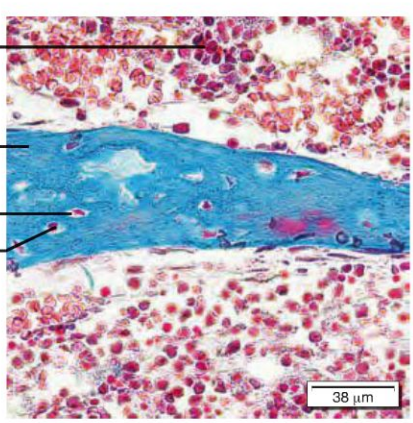
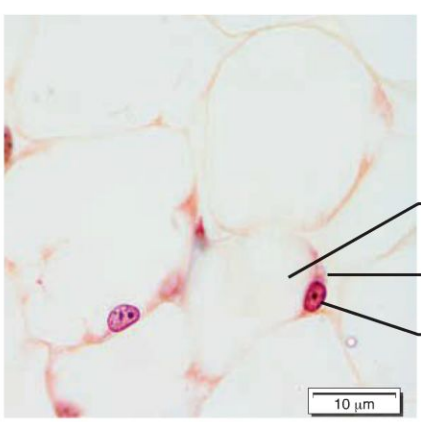


FIGURE 6

Tissu adipeux blanc (Vertébré)



Copyright © 2015 Dunod.

Les organes des animaux sont formés de cellules organisées en un nombre limité de tissus, définis comme des ensembles fonctionnels pluricellulaires composés de différents types cellulaires, de morphologies et de propriétés voisines, ayant généralement une origine embryonnaire commune.
Quatre catégories de tissus sont distingués chez les Métazoaires : les tissus épithélial, conjonctif, musculaire et nerveux.

Le tissu conjonctif est formé de cellules le plus souvent disjointes, baignant dans un matériel extracellulaire abondant. Il est constitué de substance fondamentale, gel hydraté composé de glycosaminoglycanes, de fibres protéiques comme les collagènes et l'élastine, ainsi que de glycoprotéines telles la fibronectine et la 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 identifiés, d'après les types cellulaires et la composition du matériel extracellulaire qu'ils contiennent.

Le tissu conjonctif fibreux : lâche ou dense *Figure 1. Coupe transversale d'intestin de* Lapin *; Figure 2. Coupe transversale de tégument de* Grenouille.

Les tissus squelettiques : cartilagineux ou osseux, compact et spongieux *Figure 3. Coupe transversale de larve de* Triton *; Figure 4. Coupe transversale à sec d'os de Mammifère ; Figure 5. Coupe longitudinale d'os long humain.*

Les tissus adipeux 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. *Figure 6. Coupe transversale de rein de* Souris *; Figure 7. Coupe transversale de cou de* Souris *; Figure 8. Coupe transversale de thorax de* Criquet.

FIGURE 7

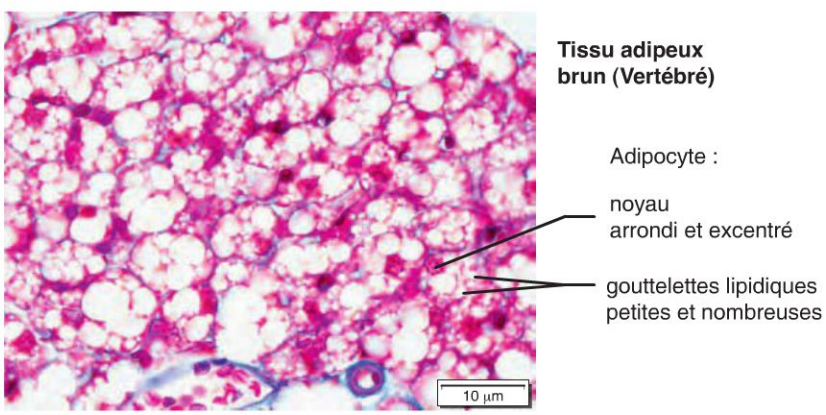
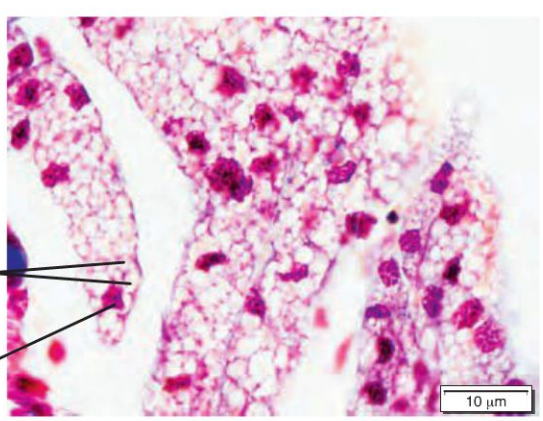


FIGURE 8



Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : identifier et décrire les tissus animaux

FIGURE 1

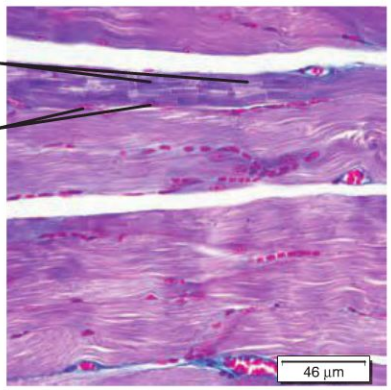


FIGURE 2

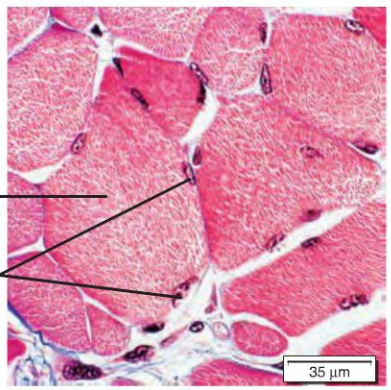


FIGURE 3

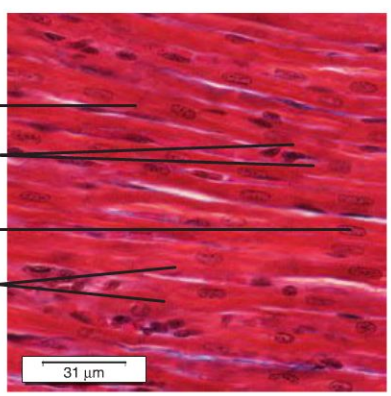


FIGURE 4

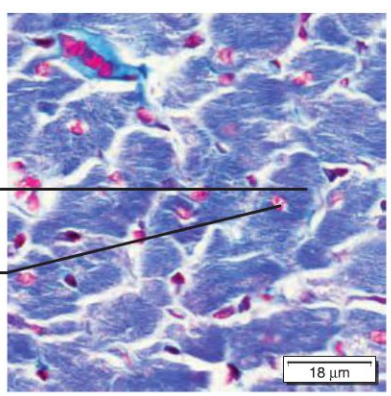


FIGURE 5

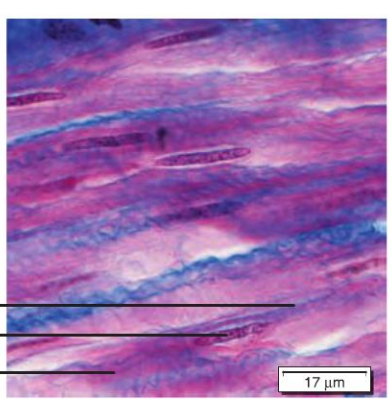
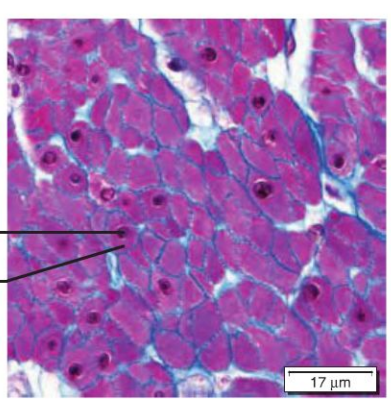


FIGURE 6



Copyright © 2015 Dunod.

Les tissus musculaires

Les organes des animaux sont formés de cellules organisées en un nombre limité de tissus, définis comme des ensembles fonctionnels pluricellulaires composés de différents types cellulaires, de morphologies et de propriétés voisines, ayant généralement une origine embryonnaire commune.
Quatre catégories de tissus sont distinguées chez les Métazoaires : les tissus épithélial, conjonctif, musculaire et nerveux.

Le tissu musculaire comprend peu de matériel extracellulaire. Il est principalement constitué de cellules possédant des propriétés contractiles, appelées myocytes ou fibres musculaires, juxtaposées. Longilignes, elles possèdent un (ou plusieurs) noyau(x) allongé(s), et sont individuellement entourées de tissu conjonctif fibreux.
Selon le type de cellules musculaires, diverses catégories de tissus musculaires sont distinguées.

Le tissu musculaire strié squelettique

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.
Figure 1. Coupe transversale de muscle de Souris *; Figure 2. Coupe transversale de thorax de* Triton.

Le tissu musculaire strié cardiaque

Les fibres musculaires striées cardiaques sont dites involontaires, en relation avec le mode de contrôle des contractions cardiaques.
Figure 3. Coupe longitudinale de cœur de Rat *; Figure 4. Coupe transversale de cœur de* Rat.

Le tissu musculaire lisse viscéral

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.
Figure 5. Coupe transversale d'estomac de Bœuf *; Figure 6. Coupe transversale d'estomac de* Bœuf.

Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : identifier et décrire les tissus animaux

FIGURE 1

Tissu nerveux central (Vertébré)

Substance grise :
- corps cellulaire de neurone
- neuropile
- cellule gliale

Substance blanche :
- cellule gliale
- neuropile

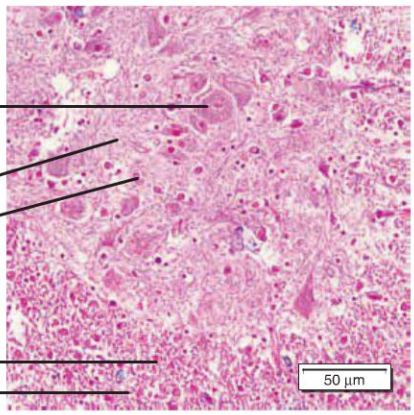


FIGURE 2

Tissu nerveux central (Insecte)
- corps cellulaire de neurone
- cellule gliale
- neuropile

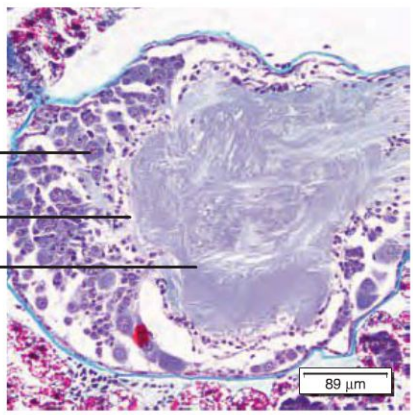


FIGURE 3

Tissu nerveux périphérique : nerf (coupe longitudinale)
- axone myélinisé
- cellule gliale
- axone non myélinisé

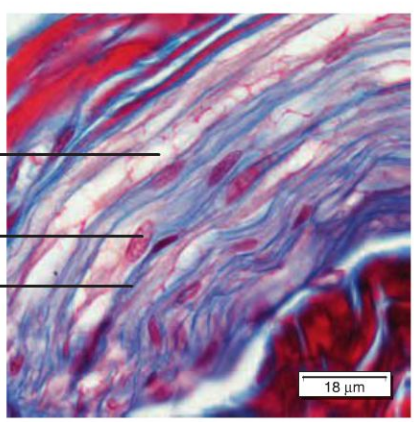


FIGURE 4

Tissu nerveux périphérique : nerf (coupe transversale)
- axone non myélinisé
- cellule gliale
- axone myélinisé

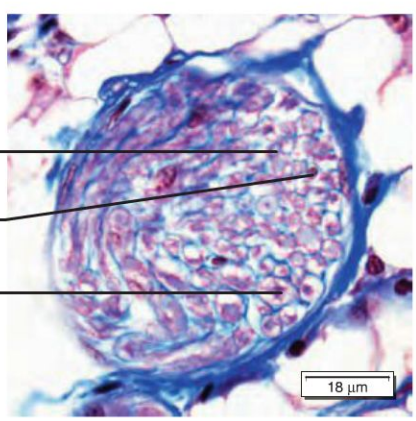


FIGURE 5

Tissu nerveux périphérique : ganglion nerveux
- neuropile
- cellule gliale
- corps cellulaire de neurone

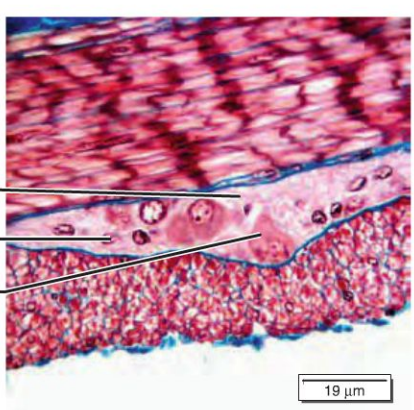
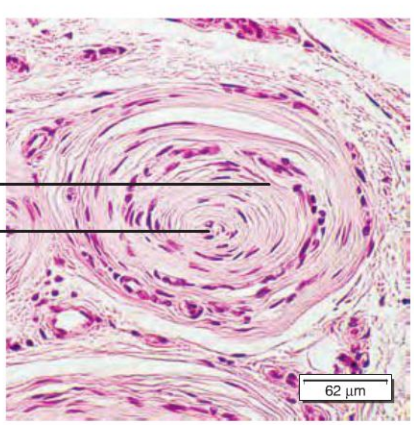


FIGURE 6

Tissu nerveux périphérique : récepteur sensoriel
- capsule
- fibre nerveuse non myélinisée



Copyright © 2015 Dunod.

Les organes des animaux sont formés de cellules organisées en un nombre limité de tissus, définis comme des ensembles fonctionnels pluricellulaires composés de différents types cellulaires, de morphologies et de propriétés voisines, ayant généralement une origine embryonnaire commune.
Quatre catégories de tissus sont distingués chez les Métazoaires : les tissus épithélial, conjonctif, musculaire et nerveux.

Le tissu nerveux est composé de neurones, cellules spécialisées dans la réception des stimulations, l'acheminement des informations et leur intégration, l'élaboration des réponses mises en application par des organes effecteurs. Excitables, les cellules nerveuses possèdent un corps cellulaire contenant le noyau et des prolongements ou fibres nerveuses. Des cellules d'accompagnement ou cellules gliales sont également présentes.
D'un point de vue anatomique, le tissu nerveux entre dans la constitution du système nerveux, divisé en système nerveux central et système nerveux périphérique, dont les caractères histologiques diffèrent.

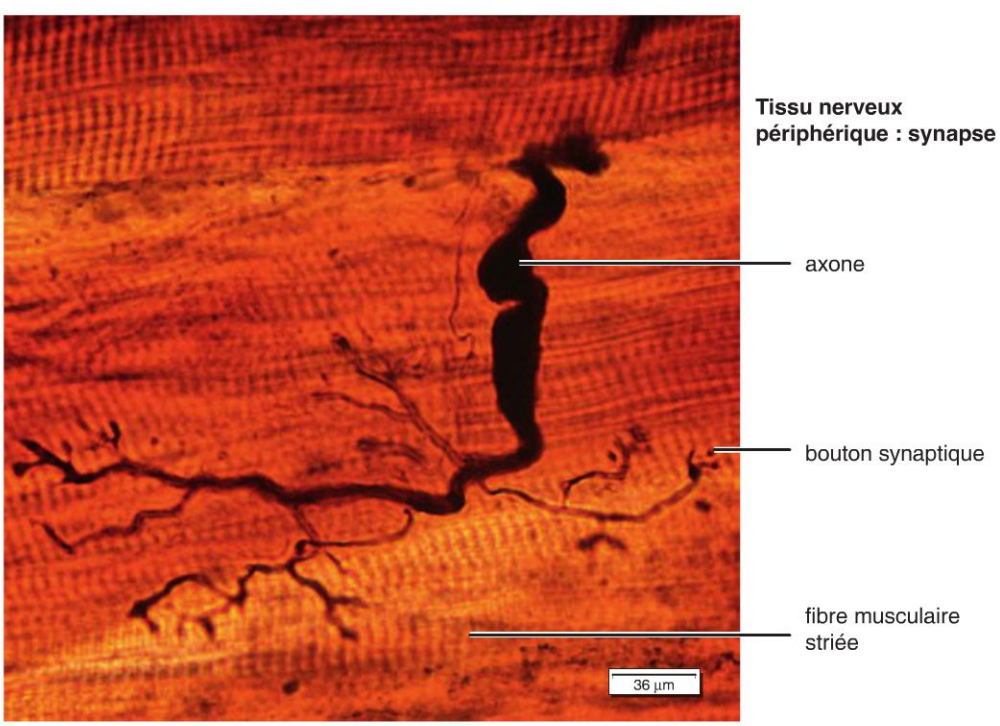
Le tissu nerveux central

Dans le système nerveux central, le tissu nerveux présente deux aspects : certaines zones sont riches en corps cellulaires de neurones, associés à des fibres nerveuses et des cellules gliales, alors que d'autres, désignées par le terme neuropile, sont composées essentiellement de fibres nerveuses et de cellules gliales.
Figure 1. Coupe transversale de moelle épinière de Poussin *; Figure 2. Coupe longitudinale de chaîne nerveuse ventrale de* Grillon

Le tissu nerveux périphérique

Le système nerveux périphérique est représenté par des nerfs, responsables de la conduction de l'information, des ganglions périphériques et des plexus, jouant le rôle de relais synaptiques, ainsi que des récepteurs sensoriels, permettant la réception de stimulations.
Dans les organes effecteurs, les axones des neurones font synapse avec les cellules effectrices, contrôlant ainsi leur activité.
Figure 3. Coupe transversale de glande mammaire de Rate *; Figure 4. Coupe transversale de nerf de* Souris *; Figure 5. Coupe transversale d'intestin grêle de* Rat *; Figure 6. Coupe transversale de bec de* Canard *; Figure 7. Montage* in toto *de muscle de* Raie.

FIGURE 7



Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : réaliser une dissection animale

FIGURE 1

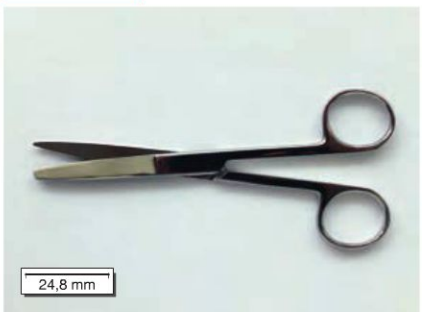


FIGURE 2

FIGURE 3

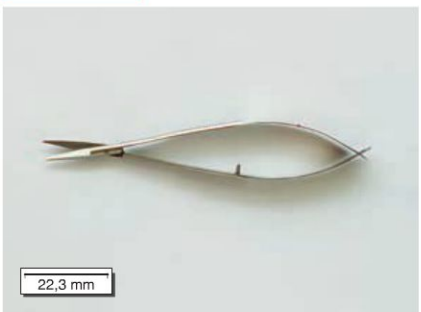


FIGURE 4

FIGURE 5

FIGURE 6

FIGURE 7

FIGURE 8

FIGURE 9

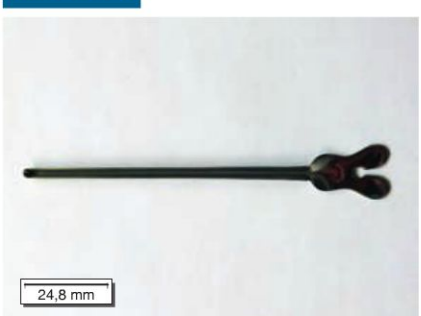


FIGURE 10

FIGURE 11

L'étude de l'anatomie des animaux nécessite généralement leur dissection. Elle consiste en la mise en évidence des organes de l'animal et de leurs connexions, après ouverture du tégument. La mise en œuvre d'une dissection implique l'utilisation de divers instruments, permettant de sectionner, d'inciser, de dégager et d'isoler.

Copyright © 2015 Dunod.

Les instruments de dissection et leur usage

fiche 97

Figure 1. Les ciseaux forts : sectionner des structures dures ou épaisses Ces ciseaux peuvent présenter des lames différentes, pointue et arrondie, ou similaires. Ils permettent de couper des structures comme les carapaces ou les os.

Figure 2. Les ciseaux fins : sectionner des structures souples ou fines Munis de deux lames semblables, pointues ici, ou dissemblables, ils sont employés pour couper des structures comme le tégument ou le tissu conjonctif.

Figure 3. Les microciseaux Noye : sectionner avec précision des structures de petite taille Également qualifiés de ciseaux ophtalmologiques, les microciseaux possèdent deux fines lames pointues grâce auxquelles il est possible de travailler sur des animaux ou organes de faibles dimensions.

Figure 4. Le bistouri et ses lames : inciser et décoller les structures Le bistouri est composé d'un manche à l'extrémité duquel est fixée une lame tranchante et amovible. Diverses formes de lames existent, utilisées pour inciser les tissus ou les séparer en sectionnant leurs attaches.

Figure 5. La pince Brucelles à bouts pointus coudés : saisir et maintenir les structures délicatement Les mors striés de cette pince permettent de tenir les organes en évitant qu'ils glissent. Leur courbure facilite l'accès aux structures et assure une bonne maniabilité.

Figure 6. La pince Brucelles à bouts arrondis droits : saisir et maintenir les structures massives Munie de mors striés, cette pince forte est conçue pour manipuler des organes de grande taille sans risque de les percer.

Figure 7. La pince Brucelles à bouts pointus droits : saisir et maintenir les structures de petite taille Grâce à ses mors striés et fins, cette pince permet de tenir les organes de faibles dimensions et de travailler avec précision.

Figure 8. La pince Brucelles à bouts pointus droits : saisir et dégager avec précision des structures de petite taille À mors lisses et très pointus, cette pince autorise un travail minutieux. Le risque de percer les structures étant important, elle doit être utilisée avec précaution.

Figure 9. La sonde cannelée : explorer et guider les sections et incisions Tenu par son extrémité plate et introduit sous le tégument par une boutonnière, cet instrument permet de sonder les espaces internes. Engagée dans la rainure, une lame de ciseau ou de bistouri peut trancher le tégument sans toucher les organes sous-jacents.

Figure 10. L'aiguille montée lancéolée : décoller et dilacérer les structures Constituée d'un manche portant une pointe plate et triangulaire, cette aiguille est utile pour décoller deux organes l'un de l'autre, ou réaliser des dissociations.

Figure 11. L'aiguille montée droite : décoller les structures Pointe aiguë portée par un manche, l'aiguille droite est employée pour désolidariser les structures.

Les instruments de dissection doivent être soigneusement entretenus. Après chaque utilisation, il convient de les débarrasser de tout débris organique, de les laver voire les désinfecter, puis de les sécher à l'aide d'un chiffon propre. Afin de préserver leur efficacité, les outils pointus sont à manipuler avec soin, en évitant de choquer ou d'enfoncer les pointes dans des supports trop durs.
La réalisation d'une dissection requiert également une cuvette à dissection et des épingles, utilisées pour contenir et épingler l'animal. Un éclairage est nécessaire, de même qu'un stéréomicroscope si le travail à effectuer est minutieux. Pissette d'eau, seringues et aiguilles, lames et lamelles sont aussi utiles.

Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : réaliser une dissection animale

FIGURE 1

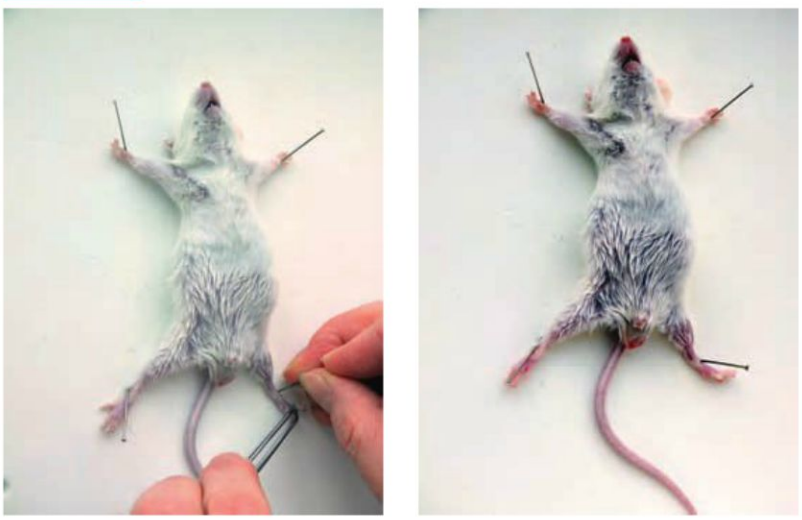


FIGURE 2

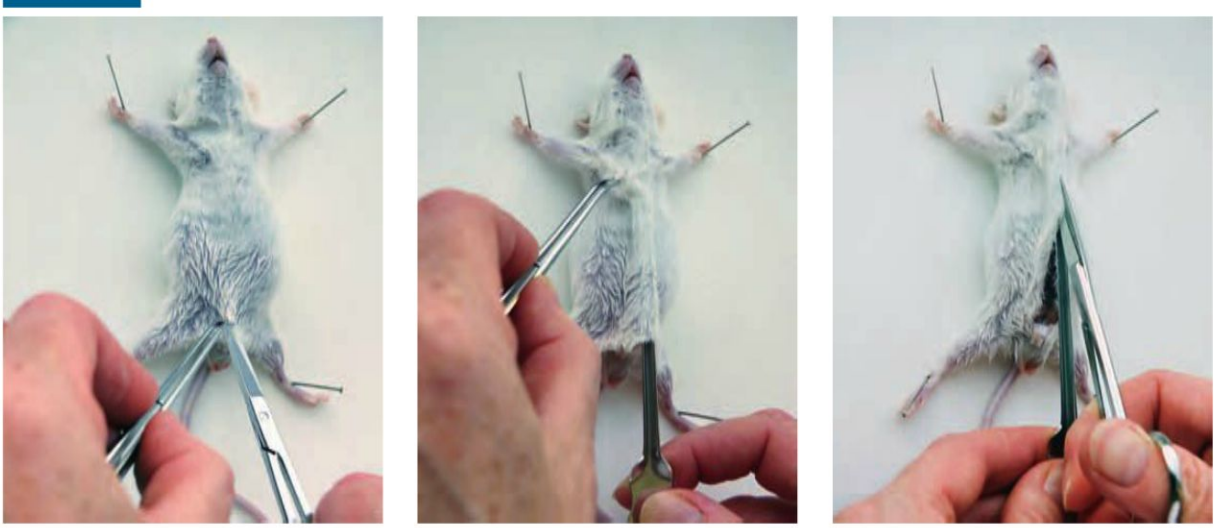
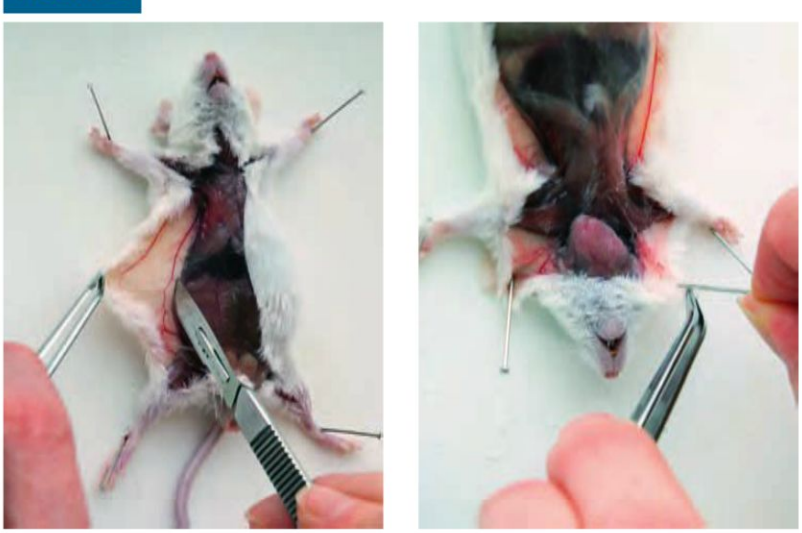


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Préparer une dissection : de la morphologie à l'anatomie

fiche 98

Une dissection a pour objectif d'appréhender avec précision l'organisation anatomique d'un animal. Dans cette perspective, elle consiste à mettre en évidence ses organes ainsi que les rapports et les connexions établis entre eux. Pour cela, deux étapes successives sont mises en œuvre : l'ouverture de l'animal et l'élimination des tissus entourant et maintenant les organes.
Préalablement à l'étude anatomique, il est utile d'effectuer un examen morphologique. Il permet d'orienter l'organisme, de repérer les régions corporelles, et fournit des indications précieuses sur son organisation.

Figure 1. Épingler l'animal sur le fond de la cuvette à dissection : orienter et fixer l'animal pour préparer l'ouverture Une dissection est classiquement réalisée dans l'eau. De cette façon, les organes flottent, sont bien visibles, et il est aisé de les identifier ainsi que de les séparer. Ces conditions évitent par ailleurs le dessèchement de la préparation.
L'animal est placé au centre d'une cuvette à dissection dont le fond est garni d'une plaque de mousse rigide, de manière à ménager un espace de travail maximal entre les bords de la cuvette et le spécimen. Il y est fixé en légère extension, grâce à des épingles plantées dans des parties du corps non disséquées. Les épingles sont enfoncées très obliquement vers l'extérieur de l'animal de manière à ne pas gêner le travail, dans le tégument et/ou la musculature afin de ne pas léser les organes internes.
De manière générale, la région du corps contenant le système nerveux est placée au contact du fond de la cuvette à dissection, l'ouverture de l'animal étant effectuée par la face opposée au système nerveux.

Figure 2. Fendre la paroi corporelle de l'animal : définir l'emplacement de l'ouverture Pour éviter de léser les organes internes au moment de couper l'enveloppe corporelle, la sonde cannelée peut être utilisée. Une boutonnière est pratiquée dans la paroi du corps à l'aide de ciseaux, la paroi étant soulevée et maintenue par une pince. La sonde cannelée, tenue par son extrémité plate, est introduite dans la boutonnière la gouttière étant orientée vers le haut. Elle est poussée entre la paroi corporelle et les structures sous-jacentes le plus loin possible, parallèlement au fond de la cuvette. La pointe des ciseaux, ou la lame du bistouri, est ensuite engagée dans la gouttière et la paroi du corps sectionnée, ou incisée, en utilisant la sonde comme guide.
Selon l'animal étudié et le protocole de dissection, la coupure peut être située sur la ligne médiane ou latéralement, et peut concerner également les appendices ou les membres.

Figure 3. Écarter les volets de la paroi corporelle : accéder à la cavité générale Les volets de la paroi corporelle résultant de la coupure peuvent être éliminés ou rabattus sur les côtés de l'animal et épinglés sur le fond de la cuvette à dissection. Dans tous les cas, ils sont décollés avec précaution des organes sous-jacents afin de préserver ces derniers. Le volet est saisi et tendu à l'aide d'une pince tandis que les adhérences avec les structures internes sont éliminées. Elles peuvent être sectionnées avec des ciseaux ou un bistouri, ou simplement rompues avec une pince fermée ou une aiguille montée en raclant la face interne de la paroi corporelle.
À ce stade de la dissection, l'animal est immergé dans l'eau : il en est entièrement recouvert.

La qualité de la dissection dépend des conditions dans lesquelles elle est réalisée. Quelques recommandations de bon sens peuvent être formulées :
- organiser l'espace de travail en disposant efficacement le matériel ;
- éclairer correctement la préparation ;
- adopter une position favorable au travail de précision ;
- identifier les structures sur l'animal ouvert avant d'entreprendre leur étude détaillée, et se faire une idée d'ensemble de leur disposition ;
- réfléchir au résultat et distinguer ce qui doit être éliminé de ce qui doit être conservé avant d'effectuer toute manipulation (incision, section) ;
- lors du travail sur une structure, respecter soigneusement les organes voisins ;
- veiller à la propreté de l'eau immergeant la dissection (la changer régulièrement ou la renouveler localement à l'aide d'une pissette) ;
- évacuer les déchets de la dissection hors de la cuvette au fur et à mesure de sa progression ;
- essuyer régulièrement les instruments utilisés pour éliminer les débris qui s'y accumulent.

Copyright © 2015 Dunod.

FIGURE 1

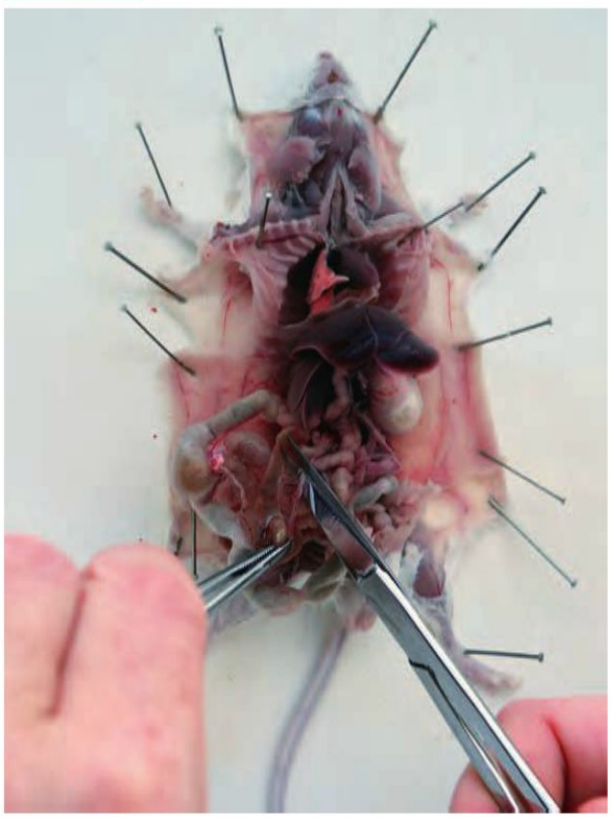


FIGURE 2

FIGURE 3

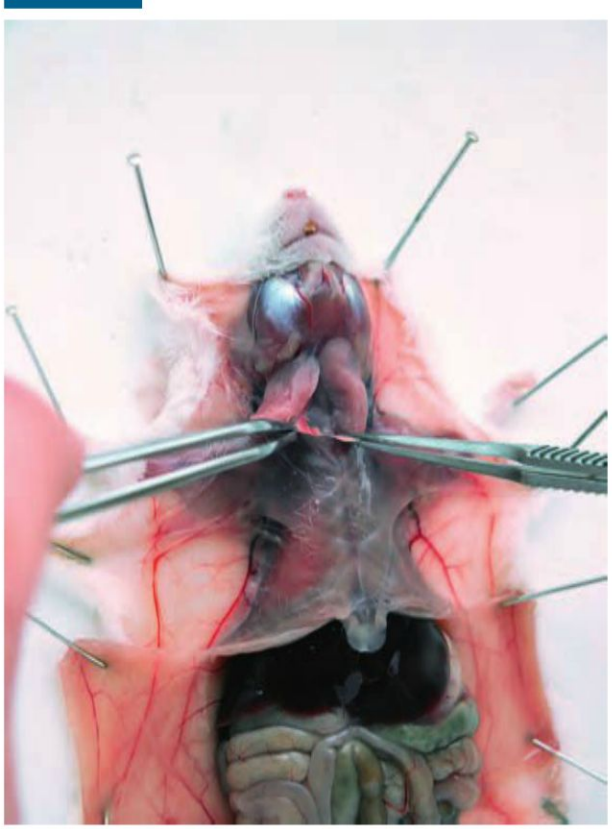


FIGURE 4

Copyright © 2015 Dunod.

Étudier l'anatomie par une dissection

fiche 99

La dissection d'un animal permet d'accéder à son organisation anatomique. Il s'agit d'identifier les systèmes, appareils et organes qui composent l'organisme et de comprendre comment ils sont reliés.
L'ouverture de l'animal consiste à fendre et écarter la paroi corporelle. Elle donne accès à la cavité générale et aux structures internes.
L'objectif du travail de dissection est alors de mettre en évidence les organes et leurs connexions. Pour cela, il convient de soulever et de séparer les organes les uns des autres, de les écarter puis de les disposer de manière adaptée.
Quelques manipulations courantes peuvent être décrites.

Figure 1. Isoler une structure : éliminer les adhérences La mise en évidence d'un système, appareil ou organe, nécessite de le détacher des structures environnantes. Pour cela ses adhérences doivent être repérées et éliminées. Elles sont le plus souvent représentées par des enveloppes ou des brides de nature conjonctive.
L'organe à isoler est saisi à l'aide d'une pince puis légèrement tiré. La bordure de l'organe devient alors plus visible et les adhérences sont tendues. Elles peuvent être coupées en utilisant la pointe de ciseaux fins, en prenant garde à ne pas sectionner l'organe lui-même, ou prises et déchirées grâce à des pinces.

Figure 2. Dégager une structure : enlever les tissus enveloppants L'examen détaillé d'un système, appareil ou organe, requiert l'élimination des tissus qui l'enveloppent et masquent sa surface. Il s'agit le plus souvent de tissu conjonctif fibreux ou de tissu adipeux. L'organe à dégager est maintenu grâce à une pince tandis que le tissu à ôter est saisi et délicatement tiré à l'aide d'une autre pince. La première pince est alors employée pour décoller de l'organe le tissu à enlever.
Dans le cas de structures tubuleuses allongées, fines et fragiles, comme les vaisseaux sanguins, il est important de travailler selon l'axe longitudinal de l'organe et non transversalement. La structure est maintenue à l'aide d'une paire de pinces, sans être trop serrée de manière à éviter toute lésion. Avec une seconde paire de pinces, le tissu à éliminer est saisi, glissé le long du tube puis délicatement déchiré. De proche en proche, la structure est ainsi progressivement dégagée.

Figure 3. Séparer des structures accolées : dissocier en préservant L'étude d'organes accolés nécessite leur séparation. Chacune des structures est saisie avec une pince de part et d'autre de la zone d'adhérence. Les pinces sont alors progressivement écartées et le tissu reliant les organes est localement déchiré. La même opération est réalisée au point de jonction suivant. De proche en proche, les deux structures sont désolidarisées.

Figure 4. Suivre un conduit : injecter un produit coloré La mise en évidence des conduits de l'organisme, notamment des vaisseaux de l'appareil circulatoire, est facilitée par l'injection dans leur lumière d'un produit coloré permettant de les visualiser. Les techniques classiques de dissection peuvent ensuite être mises en œuvre.
Une seringue, sur laquelle est montée une aiguille dont les dimensions sont adaptées à la taille de l'animal étudié, est remplie du produit à injecter. Une fois réalisée l'ouverture de l'animal, le cœur ou le vaisseau devant recevoir l'injection est repéré et dégagé. Selon l'espèce et le protocole suivi, l'organe peut être incisé avant d'insérer l'aiguille et une ligature peut être pratiquée pour orienter la progression du liquide injecté.
L'organe est saisi et maintenu à l'aide d'une pince, tandis que l'aiguille est introduite à travers sa paroi. Le piston de la seringue est poussé lentement et avec régularité, alors que la pince enserre l'aiguille dans l'organe pour éviter qu'elle se déplace. L'injection est terminée lorsque la coloration atteint les extrémités de l'organisme.
En cas d'injection dans un appareil circulatoire clos, les extrémités des membres peuvent être préalablement entaillées afin d'éviter une surpression due à l'apport de liquide.

Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : réaliser une étude d'histologie animale

FIGURE 1

FIGURE 2

FIGURE 3

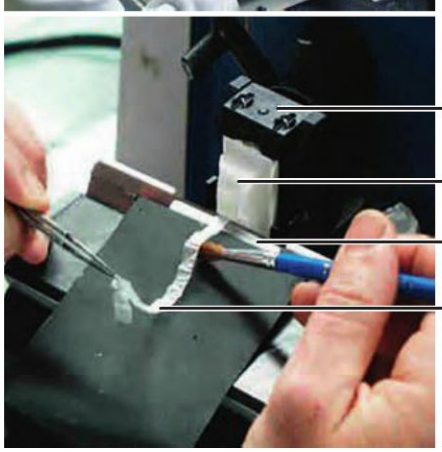
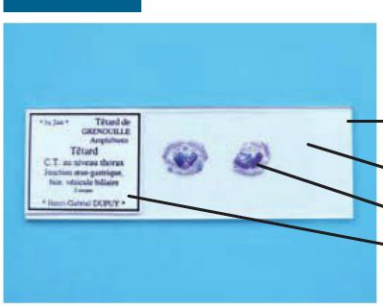


FIGURE 4

batterie de cuves à déparaffinage, réhydratation et coloration

panier porte-lames

FIGURE 5



Copyright © 2015 Dunod.

Confectionner une coupe histologique

fiche 100

L'histologie est l'examen de la structure fine des organismes et des organes qui les composent. Elle étudie leur organisation tissulaire, sur la base de l'observation de fines sections appelées coupes histologiques dont l'épaisseur varie entre 5 et 10 µm, à l'aide d'un instrument optique, le microscope photonique. Certaines caractéristiques observées sur une coupe d'organisme ou d'organe animal sont liées à la technique employée pour la confectionner. Il est en conséquence utile de connaître le principe de l'histotechnologie dans la perspective de l'interprétation des structures observées.

Figure 1. Le prélèvement et la fixation : une préservation de la structure dans un état aussi proche que possible de l'état vivant Première étape de la confection d'une coupe histologique, la fixation est le plus souvent réalisée par voie chimique. Après prélèvement, l'objet est plongé dans un liquide fixateur composé d'agents chimiques comme l'éthanol ou l'acide acétique, généralement en mélange. Schématiquement, ils provoquent des réactions croisées entre macromolécules, stabilisant les structures, stoppant l'activité biologique et facilitant les étapes suivantes. D'autres agents fixateurs sont parfois employés, notamment des agents physiques tels le froid.
La fixation conduit à l'introduction d'artéfacts dans les préparations, absents sur le vivant. Ainsi la plupart des agents fixateurs dissolvent les lipides de sorte que sur les coupes histologiques, leur emplacement apparaît généralement blanc et vide.

Figure 2. La déshydratation et l'inclusion : une élimination de l'eau et un enrobage dans un milieu dur autorisant la confection de coupes fines Une fois fixée, la pièce est plongée dans des bains d'éthanol successifs de degrés croissants, et pour finir dans un bain de butanol miscible à la paraffine. Progressivement, l'eau qu'elle contient est ainsi éliminée. La pièce est ensuite incluse dans un bloc solide : placée dans un bain de paraffine liquide à l'étuve, elle est imprégnée avant d'être déposée dans un moule où de la paraffine liquide est versée. Après refroidissement, un bloc contenant la pièce est obtenu.

Figure 3. La coupe : une section en tranches fines susceptibles d'être traversées par la lumière L'appareil utilisé pour confectionner les coupes est un microtome. Il comporte un rasoir très tranchant et un dispositif permettant de faire passer le bloc à couper sur le rasoir. À chaque passage, le bloc avance d'une distance donnée, qui détermine l'épaisseur des coupes. Difficiles à manipuler du fait de leur épaisseur de quelques micromètres, les coupes obtenues sont étalées et collées sur un support, en l'occurrence une lame de verre de 75 mm de long et 25 mm de large, qui permet d'effectuer les traitements ultérieurs et de réaliser l'observation.

Figure 4. Le déparaffinage, la réhydratation et la coloration : une élimination du milieu d'inclusion et un traitement augmentant le contraste Les lames portant les coupes sont plongées dans un solvant de la paraffine afin d'éliminer le milieu d'inclusion, puis dans des bains d'éthanol successifs de degrés décroissants, et enfin dans l'eau. Les préparations sont ainsi rendues accessibles aux colorants, le plus souvent en solution aqueuse. Les lames sont alors traitées par divers colorants. Schématiquement, il s'agit de molécules ionisées portant des groupements chromophores et se fixant sur les coupes par affinité électrostatique. En conséquence les structures sont rarement colorées de manière spécifique, les couleurs obtenues apportent en revanche un contraste favorisant leur identification.

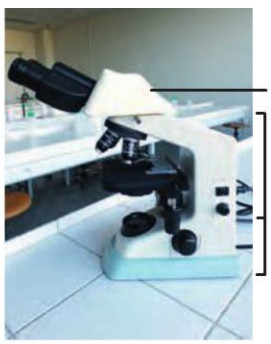
Figure 5. La déshydratation et le montage : un procédé permettant la conservation des coupes Les dernières étapes de la confection des coupes histologiques consistent en l'élimination de l'eau qu'elles contiennent, par des passages dans des bains d'éthanol successifs de degrés croissants, suivie d'un bain dans un solvant anhydre miscible à la résine transparente qui est déposée sur la préparation pour y faire adhérer une lamelle de verre protectrice.

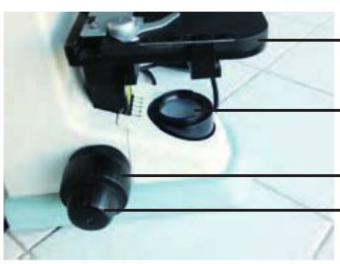
L'organisation cellulaire, ou ultrastucture, est abordée par l'étude de coupes ultrafines dont l'épaisseur est d'environ 70 nm, observées à l'aide d'un microscope électronique à transmission. La confection des coupes ultrafines est réalisée selon un principe semblable à celui de l'histotechnologie. Les pièces sont fixées par voie chimique à l'aide d'aldéhydes, fréquemment en deux phases appelées fixation et post-fixation. Elles sont ensuite déshydratées et incluses dans une résine plastique. Des coupes sont alors préparées à l'aide d'un ultramicrotome et récupérées sur une grille de cuivre, support d'observation. Elles sont enfin contrastées par passage dans des bains de sels de métaux lourds (uranyle, plomb).

Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : réaliser une étude d'anatomie et d'histologie animale

FIGURE 1





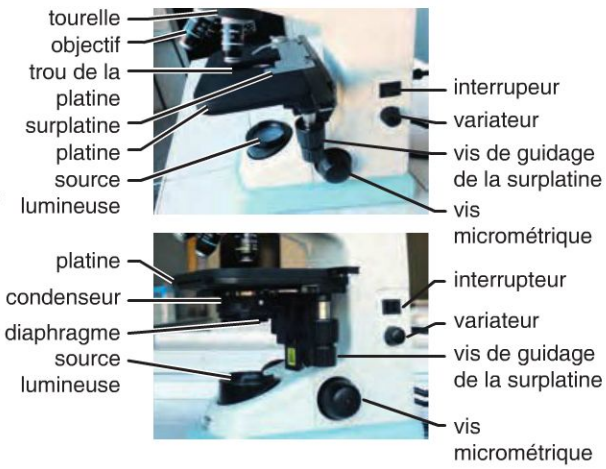


FIGURE 2

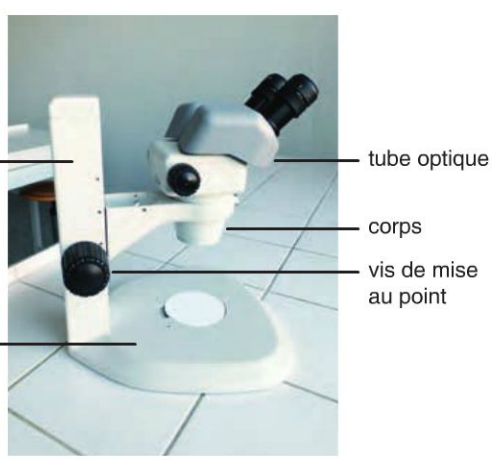


FIGURE 3

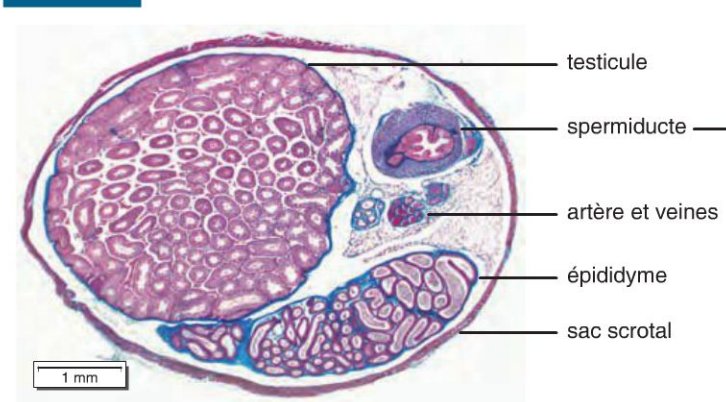
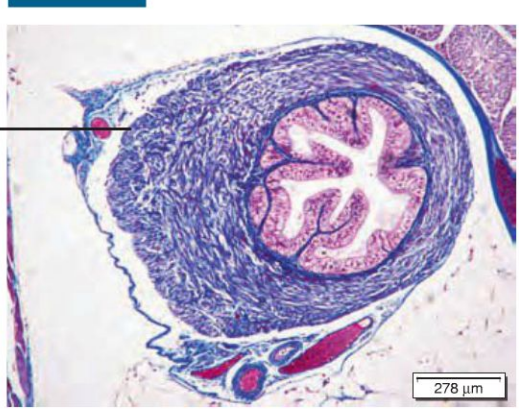


FIGURE 4



Copyright © 2015 Dunod.

Utiliser un microscope photonique et un stéréomicroscope

fiche 101

Divers instruments optiques sont employés pour l'étude de l'organisation anatomique et histologique d'un organisme animal. Ils ont la propriété de fournir une image agrandie de l'objet examiné. Le rapport entre les dimensions de l'image obtenue et les dimensions réelles de l'objet correspond au grossissement. La distance minimale entre deux points de l'objet permettant d'en obtenir deux images distinctes est appelée limite de séparation (fiche 91). L'épaisseur maximale de la tranche d'espace dans laquelle tous les points donnent une image nette est définie comme la profondeur de champ. Elle diminue avec l'augmentation du grossissement.

Figure 1. Le microscope photonique : un instrument transmettant la lumière et formant une image agrandie Le microscope photonique est composé d'un statif représenté par un pied accueillant le système d'éclairement et une potence supportant un tube optique, une platine porte-objet et un dispositif de mise au point. Le tube optique porte deux oculaires à rôle de loupes, dont l'écartement est réglable. La platine porte-objet comporte un trou central laissant passer la lumière. La lame y est déposée, et peut être déplacée grâce à la sur-platine mobile dans deux directions perpendiculaires. Le dispositif de mise au point est représenté par deux vis, macrométrique et micrométrique. Une tourelle porte-objectifs est située au-dessus de la platine et permet de mettre en place l'objectif choisi, qui fournit une image agrandie. Sous la platine est situé un condenseur concentrant les rayons lumineux, ainsi qu'un diaphragme dont le degré d'ouverture détermine la quantité de lumière traversant la préparation. Le grossissement total des microscopes photoniques courants est compris entre 40 et 1 000 et leur limite de séparation est de l'ordre de 0,2 µm. À titre de comparaison, la limite de séparation de l'œil humain est de 100 µm.

De bonnes conditions d'observation au microscope photonique requièrent la mise en œuvre de plusieurs étapes :

- la mise sous tension du système d'éclairement et l'ouverture du diaphragme ;
- la mise en place de la lame sur la platine, lamelle sur le dessus ;
- le positionnement de l'objectif de plus faible grandissement et la mise au point grossière ;
- le réglage de l'intensité d'éclairement ;
- l'ajustement de l'écartement interpupillaire ;
- la mise au point fine ;
- le réglage de la compensation (correction de la différence d'acuité visuelle entre les deux yeux) ;
- le choix de la hauteur du condenseur (focalisation du faisceau lumineux) et le degré d'ouverture du diaphragme.

L'observation débute généralement avec l'objectif de plus faible grandissement et est affinée avec les objectifs de grandissements croissants. Du fait de leur synchronisation, seul un léger ajustement de la mise au point est nécessaire lors du passage d'un objectif au suivant. L'objectif de plus fort grandissement requiert le plus souvent le dépôt d'une goutte d'huile à immersion sur la préparation pour la mise au point.

Oculaires et objectifs doivent être soigneusement nettoyés au terme de l'observation, de même que le corps du microscope.

Figure 2. Le stéréomicroscope : un instrument formant une image agrandie en relief Le stéréomicroscope est formé d'un statif comprenant un pied, éventuellement muni d'un dispositif d'éclairement par transmission, et d'une potence. Elle supporte le corps, le tube optique et le système de mise au point, ainsi que parfois un dispositif d'éclairement par réflexion. Le corps du stéréomicroscope comporte un objectif central, associé à des lentilles permettant de moduler le grossissement de manière continue. Deux oculaires faisant office de loupes sont présents sur le tube optique. Le dispositif de mise au point est représenté par deux vis, macrométrique et micrométrique.

Le grossissement total des stéréomicroscopes courants varie de 8 à 60 le plus souvent, alors que leur limite de séparation est d'environ 2 µm.

Figures 3. et 4. Le sac scrotal et le spermiducte de la *Souris* : observations au stéréomicroscope et au microscope photonique

Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : réaliser une étude d'histologie animale

FIGURE 1

Cou de *Souris* (coupe transversale)

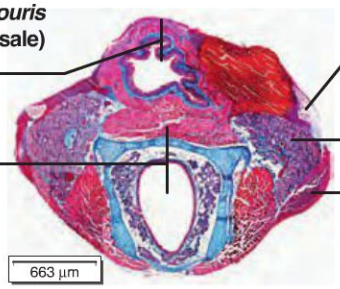


FIGURE 2

Cou de *Souris* (coupe transversale)

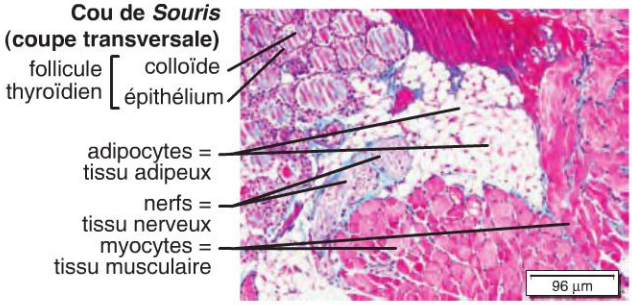


FIGURE 3

Nerfs du cou de *Souris* (coupe transversale)

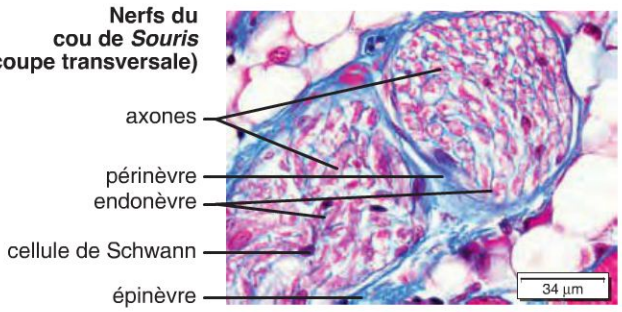


FIGURE 4

Œsophage du cou de *Souris* (coupe transversale)

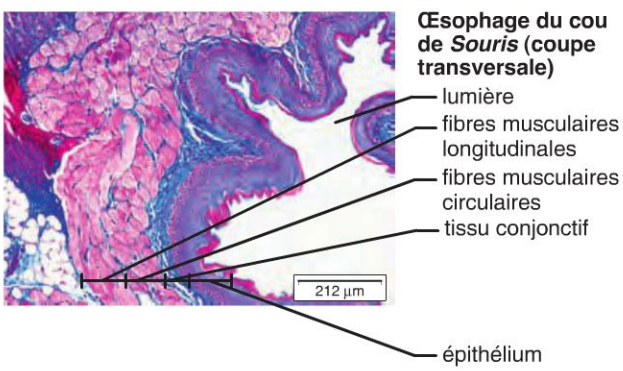


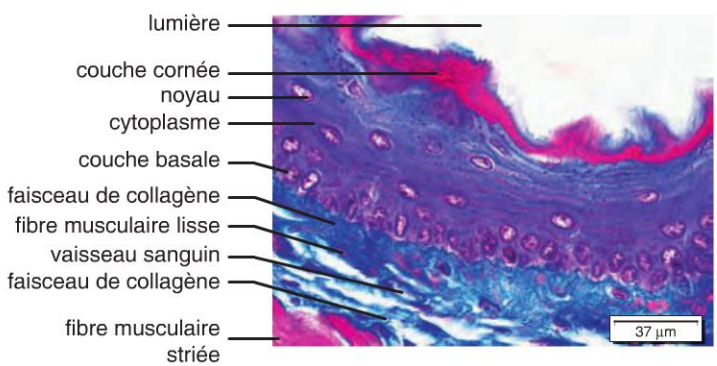
FIGURE 5

Œsophage du cou de *Souris* (coupe transversale)

Muqueuse = épithélium tissu conjonctif (chorion)

Sous-muqueuse = tissu conjonctif

Musculeuse



Copyright © 2015 Dunod.

L'étude d'une coupe fine d'un organisme ou d'un organe animal implique plusieurs étapes. Son observation est réalisée successivement à l'œil nu, au stéréomicroscope et au microscope photonique, de manière à appréhender la forme générale de l'objet, l'agencement des grands ensembles qui le composent le cas échéant, puis d'identifier les constituants tissulaires, leur importance relative et leurs relations, avant d'accéder aux caractéristiques des cellules.

Figure 1. L'examen au stéréomicroscope : de la forme générale aux grands ensembles Le grossissement du stéréomicroscope autorise l'observation d'une coupe histologique dans sa totalité. Dans ces conditions, il est possible de discerner l'éventuelle présence d'un tégument sur le pourtour de la section, caractéristique d'une coupe d'organisme entier. Outre la forme générale de la coupe et des organes qui la composent, les dimensions relatives des structures peuvent être estimées. Les organes creux possédant une large lumière, comme les constituants du tube digestif ou les voies respiratoires extrapulmonaires, peuvent être distingués des organes massifs qui en sont dépourvus, comme les glandes endocrines, les muscles ou les squelettes internes rigides.

Figures 2. et 4. L'étude aux faibles grossissements du microscope photonique : de l'importance relative des tissus à leur reconnaissance Le microscope photonique, en complément du stéréomicroscope, permet d'identifier les tissus animaux composant les organes ou les systèmes, respectivement ensembles pluritissulaires ou constitués principalement d'un type de tissu.
Dimensions et accolement des cellules, développement du matériel extracellulaire, présence de canaux ou de vaisseaux sont des caractères contribuant à la reconnaissance des tissus (tissus épithélial de revêtement ou glandulaire, conjonctif, musculaire et nerveux). Leurs abondances respectives sont fréquemment liées à la fonction des organes : protection et échange, sécrétion, soutien et amortissement, mobilité, information etc. Ainsi un organe possédant un épithélium épais et/ou muni d'un revêtement rigide a un rôle protecteur comme c'est le cas de l'épiderme, pluristratifié chez les Vertébrés et simple chez les autres Métazoaires. Lorsque la paroi d'un organe est riche en tissu musculaire, il est fortement contractile comme l'estomac, le gésier ou encore les artères musculaires.

Figures 3. et 5. L'observation aux forts grossissements du microscope photonique : l'identification des particularités des cellules Les forts grossissements du microscope photonique donnent accès aux caractéristiques des cellules.
Jointives, elles sont de type épithélial et peuvent être impliquées dans la protection, les échanges ou la sécrétion. La présence de différenciations apicales comme la bordure en brosse, ou basales comme les striations, témoigne d'une spécialisation dans la fonction d'échange de même qu'une taille importante, signe d'une forte activité métabolique. Les pneumocytes et les cellules épithéliales branchiales, impliqués dans les échanges gazeux respiratoires, ne possèdent cependant aucun de ces caractères. Les cellules sécrétrices, de même que les cellules spécialisées dans le stockage de substances de réserve, sont caractérisées par des dimensions généralement importantes ainsi que la présence de produits accumulés sous forme de grains et de vésicules de sécrétion, ou de gouttelettes. La mobilité est assurée par des cellules contractiles, allongées et possédant un abondant cytosquelette matérialisé par une striation transversale lorsque son agencement est très régulier, ou une ciliature épithéliale apicale. Le soutien implique des cellules produisant ou entretenant un matériel extracellulaire abondant et baignées dans cette matrice, ou des cellules turgescentes associées à une enveloppe inextensible. Les neurones, spécialisés dans la transmission de l'information nerveuse, sont caractérisés par la possession d'un volumineux corps cellulaire et de multiples expansions fibreuses. Les cellules circulantes entrant dans la composition du sang, de l'hémolymphe ou du liquide cœlomique, sont pour leur part isolées, formant un tissu dissocié.

L'analyse d'une coupe fine d'organisme ou d'organe animal nécessite donc un examen à plusieurs échelles et des allers-retours multiples entre les niveaux d'organisation. Ils permettent d'identifier les tissus sur la base des caractéristiques des cellules qui les composent, les organes à partir de l'abondance des tissus qui les constituent, et les organismes en fonction des particularités des structures qu'ils contiennent.

Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : réaliser une étude d'histologie animale

FIGURE 1

(rein de têtard, grossissement de l'observation x 3000)

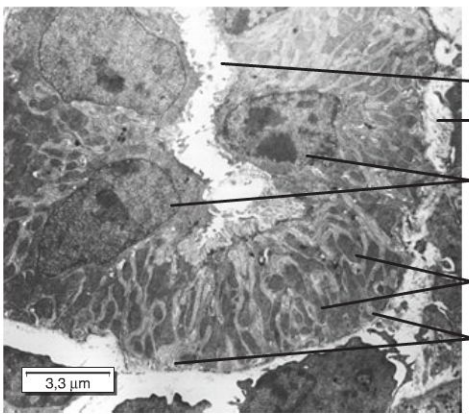


FIGURE 2

(rein de têtard, grossissement de l'observation x 4400)

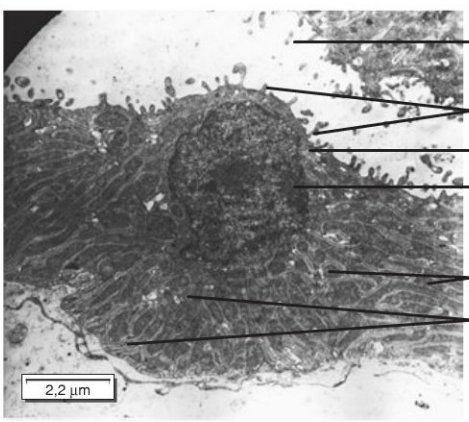


FIGURE 3

(rein de têtard, grossissement de l'observation x 7000)

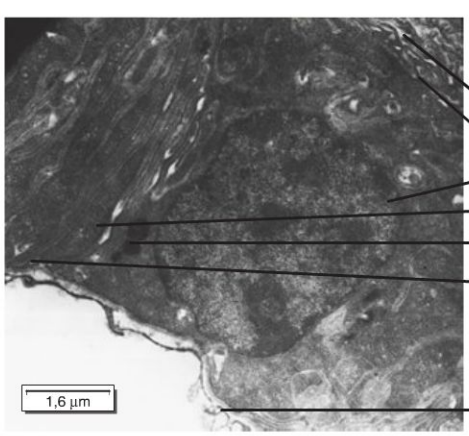
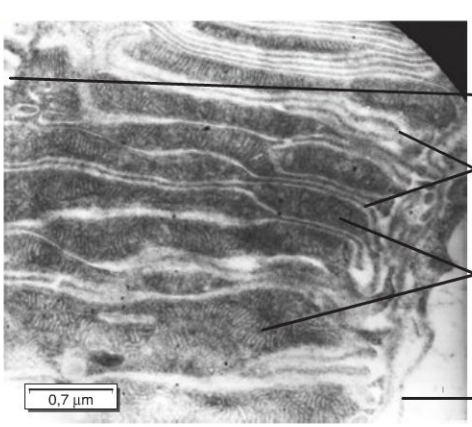


FIGURE 4

(rein de têtard, grossissement de l'observation x 12000)



Copyright © 2015 Dunod.

Pour interpréter correctement une micrographie obtenue à l'aide d'un microscope électronique à transmission, il est important de garder à l'esprit que la coupe examinée est ultrafine : son épaisseur est comprise entre 60 et 90 nm, inférieure aux dimensions des cellules. En conséquence seule une fraction des cellules est observée sur une préparation. En outre, les contrastes sont augmentés par un traitement aux sels de métaux lourds. La coupe est illuminée par un faisceau d'électrons qui en traverse certaines plages, et est arrêté par d'autres. Dans le premier cas, des zones claires sont observées et dans le second des champs sombres, dits denses ou opaques aux électrons. Les constituants cellulaires sont identifiés sur la base de leur forme, amplifiée par le contraste, caractéristique malgré une relative variabilité.

Figure 1. Le grossissement de l'observation et l'échelle de la micrographie : des indications sur le niveau d'organisation Schématiquement, un groupe de cellules est visible sur une micrographie résultant de l'observation d'une préparation à un grossissement compris entre 1400 et 5000 fois. Au-delà, une unique cellule ou une partie de cellule occupe la totalité du champ. Plusieurs caractères permettent d'identifier un ensemble pluricellulaire. Ainsi l'agencement des cellules autour d'une lumière indique une structure creuse sphérique ou tubuleuse comme un vaisseau, un acinus ou un follicule, dont le diamètre est parfois un critère de reconnaissance. L'absence de lumière est caractéristique d'un groupe de cellules inclus dans un organe massif comme le foie, une glande endocrine ou un muscle. Les relations entre les cellules et la présence de matériel extracellulaire sont également des aspects à prendre en compte. Ainsi des cellules accolées et reliées par des jonctions intercellulaires sont généralement présentes dans les tissus épithéliaux, alors qu'une matrice extracellulaire abondante est caractéristique du tissu conjonctif.

Figure 2. Les dimensions et la forme de la cellule : des informations sur le type cellulaire Les dimensions des cellules sont très diverses, variant schématiquement de 5 µm à 300 mm. Elles apportent des informations susceptibles de contribuer à l'identification des types cellulaires. À titre d'exemple, le diamètre d'une hématie est de 7 µm, la longueur d'un fibrocyte est de l'ordre de 20 µm, la hauteur d'un entérocyte ou d'un hépatocyte est comprise entre 30 et 60 µm. La forme est également caractéristique du type cellulaire. Certains sont sphériques et fournissent des images circulaires, comme les leucocytes ou les chondrocytes. D'autres sont allongés et à l'origine d'images fusiformes, par exemple les fibrocytes et les fibres musculaires lisses. Il existe des cellules cubiques, dont les sections sont carrées, comme les hépatocytes et les cellules bordant les canaux des glandes exocrines, des cellules dont les images sont rectangulaires à l'instar des entérocytes, et des cellules aplaties comme les pneumocytes I. Des cellules pyramidales telles les cellules acineuses et des cellules caliciformes comme les cellules à mucus sont aussi observables. Les dimensions cellulaires ne peuvent être estimées que par le biais de multiples mesures, les images fournies par le microscope électronique à transmission ne donnant qu'une vue partielle des cellules. Il en va de même pour la caractérisation de leur forme.

Figures 3 et 4. Les constituants cellulaires : des indices de la fonction cellulaire Le rapport nucléoplasmique et la polarisation des cellules apportent des informations sur le degré de différenciation : les cellules à caractères embryonnaires possèdent généralement un noyau volumineux, peu de cytoplasme et aucune polarité nette à l'inverse des cellules présentant une spécialisation fonctionnelle. Un réticulum endoplasmique granuleux et un appareil de Golgi abondants témoignent d'une forte activité de synthèse de substances protéiques. Un réticulum endoplasmique lisse abondant et formant des citernes dilatées, associé à des mitochondries à crêtes tubulaires et de nombreuses gouttelettes lipidiques, est le signe d'une forte activité de synthèse de substances de nature lipidique. Une densité élevée de vésicules cytoplasmiques, des gouttelettes lipidiques nombreuses ou d'abondantes inclusions indiquent une fonction de stockage de substances respectivement protéiques, lipidiques et glucidiques. La présence de replis membranaires, comme les microvillosités ou les replis basaux, ainsi que l'abondance de vésicules intracellulaires, indique une spécialisation des cellules dans la réalisation d'échanges de matière. La richesse en mitochondries témoigne du caractère actif des échanges. Très souvent, les cellules spécialisées dans les échanges sont en outre volumineuses et montrent une polarité structurale liée à leur polarité fonctionnelle. La possession de protéines du cytosquelette abondantes révèle une spécialisation dans le mouvement. Les cellules sont alors capables de se déformer ou présentent des structures douées de mobilité comme les cils, replis membranaires soutenus par des axonèmes.
Si ces considérations permettent de caractériser la plupart des cellules, il faut noter que certains types cellulaires ont des organisations tout à fait originales comme les gamètes et les cellules sensorielles.

Copyright © 2015 Dunod.

6 Techniques et méthodes : rendre compte de l'étude d'anatomie ou d'histologie animale

FIGURE 1

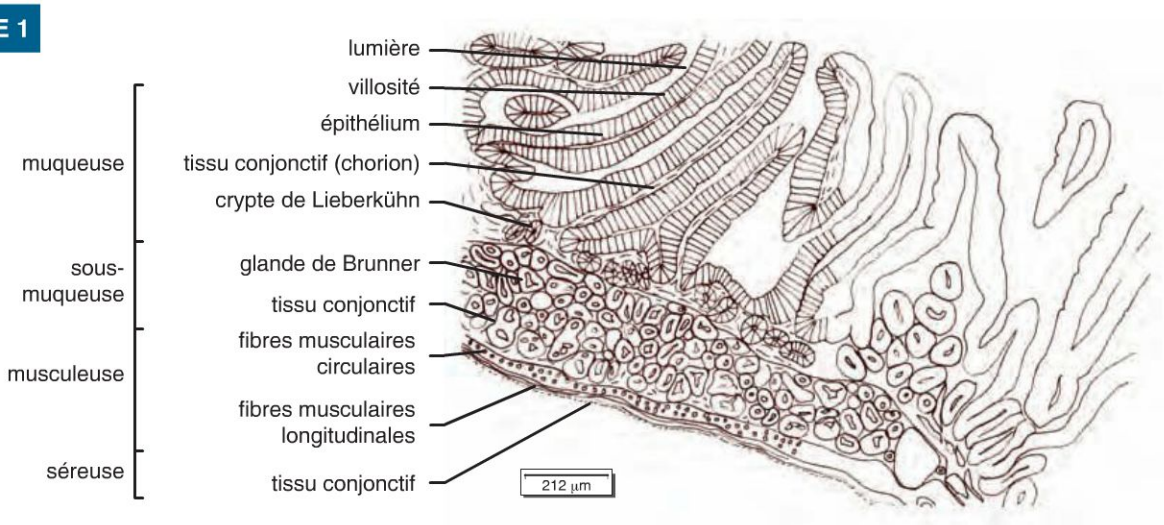


FIGURE 2

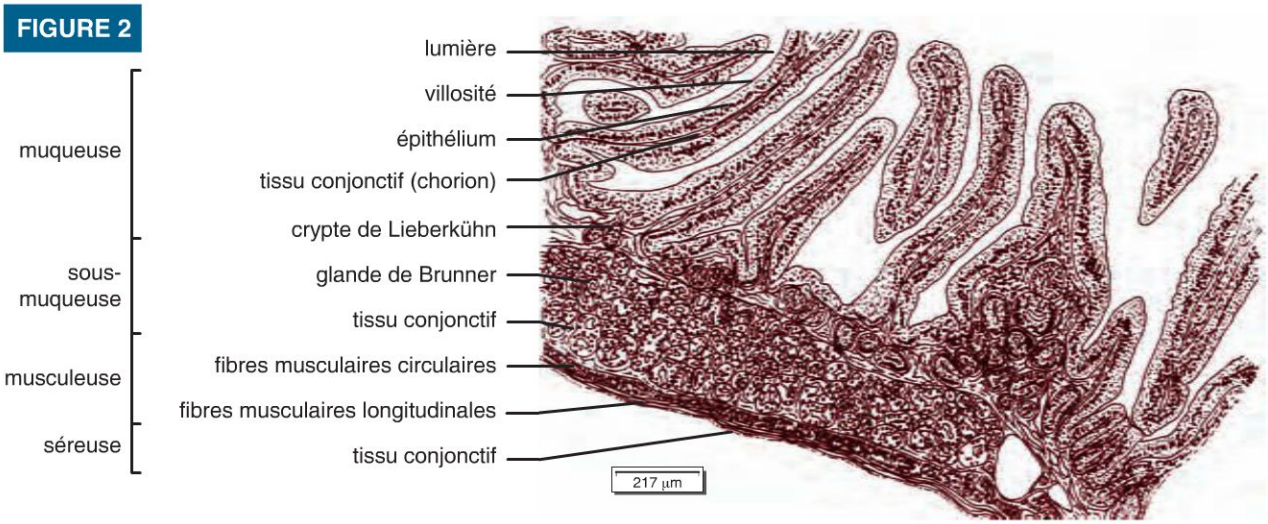
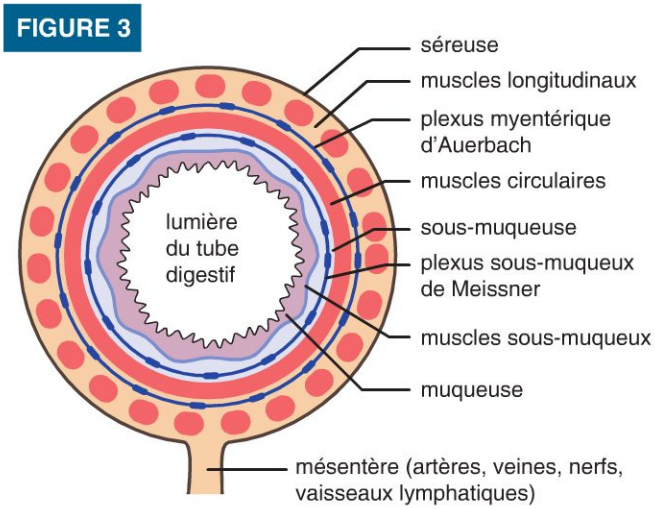


FIGURE 3



Copyright © 2015 Dunod.

Réaliser une représentation graphique et rédiger un commentaire

fiche 104

Le compte-rendu d'une étude anatomique ou histologique est réalisé sous forme d'une représentation graphique complétée par un commentaire. Il permet de transmettre une compréhension de l'objet étudié et le savoir qui y est rattaché. Parmi les qualités principales d'un compte-rendu figurent la clarté, la précision et la mise en évidence des aspects importants.

Les différents types de représentations graphiques

Figure 1. Le croquis : une représentation de l'organisation générale d'un objet biologique (*coupe longitudinale du duodénum de* Rat) Sans détail, le croquis est réalisé au crayon à papier et peut comporter des figurés.

Figures 2. Le dessin d'observation : une représentation détaillée d'un objet biologique (*coupe longitudinale du duodénum de* Rat) Sans simplification, le dessin d'observation est effectué au crayon à papier.

Figures 3. Le schéma : une généralisation figurant les éléments essentiels (*structure histologique de l'appareil digestif des Mammifères*) Synthèse de plusieurs observations, le schéma comporte parfois des couleurs et des aspects fonctionnels.

Les étapes de la construction d'un compte-rendu

Dans tous les cas, la construction d'un compte-rendu requiert plusieurs étapes successives.

a. Préparer la représentation graphique : comprendre l'objet et concevoir le résultat final Avant d'aborder l'exécution de la représentation graphique, il est indispensable de comprendre l'organisation de l'objet étudié. Cette condition est nécessaire à la perception des points à mettre en évidence, à la définition des légendes à apposer, à la détermination des conclusions à rédiger mais également à l'anticipation des difficultés posées par la réalisation du compte-rendu.
Il est aussi important de réfléchir à la mise en page (disposition et dimensions optimales de la représentation graphique, liste et agencement des légendes et des conclusions) de manière à ne pas être gêné lors de son exécution.

b. Réaliser la représentation graphique : dessiner l'objet étudié Le traçage de la représentation graphique implique :
- la définition d'un cadre centré par rapport à la page, dans lequel est réalisée la figure ;
- la détermination des dimensions des parties principales de l'objet dans le respect des proportions, au besoin en utilisant une règle graduée pour mesurer les structures observées ;
- l'exécution de la figure au trait fin et noir, continu et d'épaisseur uniforme, à l'aide d'un crayon à papier de dureté moyenne, en commençant par la silhouette de l'objet, puis en travaillant sur les masses de second ordre sans se préoccuper des détails secondaires.

c. Habiller la représentation graphique : livrer l'interprétation de l'objet étudié La compréhension de l'objet représenté est exprimée dans les légendes et le titre habillant la figure.
Les légendes sont disposées hors du champ de la représentation graphique à l'extrémité de traits de rappel ne se croisant pas, écrites à l'aide du même crayon à papier que précédemment. Un soin tout particulier est apporté à leur précision et leur exhaustivité ainsi qu'à leur logique (ordonnancement de l'extérieur vers l'intérieur, hiérarchisation etc.). Elles sont ainsi réparties autour de la figure mais groupées par thème. Le titre est également précis et indique la nature de l'objet représenté et les conditions d'observation (type de vue, instrument d'observation, grossissement etc.). L'agrandissement de la figure est représenté sous forme d'une échelle graphique, visuelle.

d. Finaliser la représentation graphique : optimiser la présentation, le soin et la rigueur La finition consiste à effacer le cadre délimitant les espaces dédiés à la figure et aux légendes ainsi que l'éventuelle esquisse, à vérifier l'orthographe et la propreté de la représentation, à figurer les détails accessoires, les ombres, etc.

e. Commenter la représentation graphique : proposer une diagnose Le commentaire est la traduction de l'interprétation de l'objet étudié sous forme de mots. Les observations importantes sont récapitulées et les conclusions qui en découlent (positives comme négatives) sont exposées, de manière claire, précise, concise et rigoureuse. La diagnose peut être rédigée ou présentée sous forme de tableau.

Copyright © 2015 Dunod.

Bibliographie

Beaumont A., Cassier P. *Biologie animale, des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens*, tome 1. Dunod, Paris, 2004.

Beaumont A., Cassier P. *Biologie animale, des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens*, tome 2. Dunod, Paris, 2004.

Beaumont A., Cassier P. *Biologie animale, les Cordés, anatomie comparée des Vertébrés*. Dunod, Paris, 2009.

Beaumont A., Cassier P. *Travaux pratiques de Biologie animale*. Dunod, Paris, 2009.

Bertin L., Boisselier A. *Manipulations zoologiques*. Presses universitaires de France, Paris, 1930.

Brusca R.C., Brusca G.J. *Invertebrates*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, 2003.

Burkitt H.G., Young B., Heath J.W. *Histologie fonctionnelle* Wheater. Arnette, Paris, 1993.

Callen J.C. *Biologie cellulaire, des molécules aux organismes*. Dunod, Paris, 2005.

Campbell N.A. *Biologie*. De Bœck université, Bruxelles, 1995.

Cassier P., Lafont R., Descamps M., Porchet M., Soyez D. *La reproduction des invertébrés*. Masson, Paris, 1997.

Chadefaud M., Régnier V. *Sciences naturelles, zoologie descriptive, biologie animale*. Delagrave, Paris, 1961.

Chapron C. *Principes de zoologie, structure-fonction et évolution*. Dunod, Paris, 1999.

Cottez H. *Dictionnaire des structures du vocabulaire savant*. Dictionnaires Le Robert, 1980.

De Cecatty M. *La vie de la cellule à l'homme*. Seuil, Paris, 1962.

Encyclopædia Universalis

Freeman W.H., Bracegirdle B. *An atlas of invertebrate structure*. Heineman, Londres, 1985.

Fretter V., Graham A. *British prosobranch molluscs, their functional anatomy and ecology*. The Ray Society, Londres, 1962.

Ginet R., Roux A.L. *Plans d'organisation du règne animal*. Doin, Paris, 1986.

Girod P. *Manipulations de Zoologie, animaux invertébrés*. Baillière J.-B. et fils, Paris, 1889.

Girod P. *Manipulations de Zoologie, animaux vertébrés*. Baillière J.-B. et fils, Paris, 1892.

Grassé P.P. *Traité de Zoologie, Anatomie, Systématique, Biologie*. Masson, Paris, 1953 à 1996.

Heusser S., Dupuy H.-G. *Atlas de biologie animale – Tome 1 – Les grands plans d'organisation*. Dunod, Paris, 2008.

Heusser S., Dupuy H.-G. *Atlas de biologie animale – Tome 2 – Les grandes fonctions*. Dunod, Paris, 2008.

Leake L.D. *Comparative histology, an introduction to the microscopic structure of animals*. Academic Press, Londres, 1975.

Lecointre G., Le Guyader H. *Classification phylogénétique du vivant*. Belin, Paris, 2006.

LeMoigne A., Foucrier J. *Biologie du développement*. Dunod, Paris, 2009.

Lytle C.F. *General zoology, laboratory guide*. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque IA, 1996.

Maissiat J, Baehr J.C., Picaud J.L. *Biologie animale, invertébrés*, tome 1. Masson, Paris, 1996.

Marshall A.M., Hurst C.H. *A junior course of Practical Zoology*. John Murray, Londres, 1930.

Picoche J. *Dictionnaire étymologique du français*. Dictionnaires Le Robert, Paris, 2009.

Platel R., Meunier J.F., Ridet J.M., Vieillot H. *Zoologie des Cordés*. Ellipses, Paris, 1991.

Prelle A., Cognard-Delpech C. *Travaux pratiques de Zoologie, morphologie et anatomie, Vertébrés*. CRDP, Orléans-Tours, 1974.

Raccaud-Schoeller J. *Les insectes, physiologie, développement*. Masson, Paris, 1980.

Richard D. (sous la direction de) *Biologie, tout le cours en fiches*. Dunod, Paris, 2015.

Richard D., Nattier R., Richard G., Soubaya T. *Atlas de phylogénie*. Dunod, Paris, 2014.

Ridet J.M., Platel R., Meunier J.F. *Zoologie, des Protozoaires aux Echinodermes*. Ellipses, Paris, 1992.

Roux C., Mathieu J. (sous la direction de) *Guide pratique pour l'étude anatomique des Vertébrés*. Doin, Paris, 1975.

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.

Tixier A., Gaillard J.M. *Anatomie animale et dissection*. Vigot, Paris, 1957.

Turquier Y. *L'organisme dans son milieu, l'organisme en équilibre avec son milieu*, tome 2. Doin, Paris, 1994.

Turquier Y. *L'organisme dans son milieu, les fonctions de nutrition*, tome 1. Doin, Paris, 1989.

Véron G. *Aide-mémoire d'organisation et classification du monde animal*. Dunod, Paris, 2002.

Copyright © 2015 Dunod.

Index

Attention, les numéros indiqués sont des numéros de fiche et non des numéros de page.

A

abdomen 13-16, 26, 27
acinus 35
acœlomate 12
acron 13, 14
Actinoptérygien 22, 23, 25
adénohypophyse 70, 71
adipocyte 94
adventice 73, 74
aile 15, 16
alevin 23
Alvéolobionte 1
Amibe 2
amnios 88
ammoniotélie 50
amœbocyte 3, 4
Amphioxus 27
ampoule testiculaire 79
Anémone de mer 91
Annélide 7-9, 11, 51, 54, 64, 81
  achète 9
  oligochète 9, 80
  polychète 9
Antennate 14, 16, 17
antenne 13, 14, 16, 17
antennule 13
Aplysie 38
appareil
  ambulacraire 20, 21
  aquifère 20
  hémal 20, 21
  lacunaire 20
  périhémal 20, 21
  sinusaire 20
appareil buccal
  Abeille 31
  broyeur 29
  broyeur-lécheur 31
  Criquet 29
  Mouche 31
  Moustique 31
  Papillon 31
  piqueur-suceur 31
  Punaise 31
  suceur 31
appareil
  circulatoire 7-9, 11, 13, 14, 16, 17, 20, 22-24, 26, 27, 72-76
  digestif 7, 11-13, 15, 18-20, 22-24, 26, 27, 32, 35, 39
  excréteur 12, 18, 22, 24, 26, 47-50
  génital 7, 8, 12, 13, 15, 18-20, 22, 24, 26, 78, 80, 83, 84, 86, 87, 90
  locomoteur 63
  lymphatique 74
  pulmonaire 42
  respiratoire 13, 15, 20-24, 26, 40-45
appendice 13, 14, 16
  locomoteur 17
Arachnide 17
Araignée 17, 42
  chélicère 17
  opisthosome 17
  pédipalpe 17
  phyllotrachée 42
  poumon lamellaire 42
  prosome 17
  stigmate 42
archéocyte 4
artère 11, 13, 72, 74-76
  de distribution 73
  d'irrigation 73
  élastique 73
  libre 73
  musculaire 73
artériole 73
Arthropode 13-15, 17, 51, 60, 61
  appareil respiratoire 42
  appareil circulatoire 76
  céphalisation 17
  cérébralisation 17
  cuticule 51
  épiderme 51
  hémocœle 17
  métamérie 17
  œil composé 60
  ommatidie 60
  organe excréteur 50
  soie 51
  système nerveux 17
  tégument 51
Ascaris 18, 19, 81, 82
Ascidie 27
Astéride 21
asticot 16
atriopore 27
atrium 3, 12, 42, 44
audition 62
autopode 24-26
axone 67, 68

B

Bilatérien 9, 11, 12, 14, 16, 17, 19, 21, 25, 27, 64
bile 35
Bivalve 10, 11
blastocyste 88
blastomère 88
bonnet 37
bosse de Polichinelle 10
bourgeon du goût 62, 63
brachyodonte (dent) 36
branchie 10, 11, 13, 22-24, 40, 41
  filament 40
  lames 40
Branchiopode 14
branchiostégite 13
bronche 43
bronchiole 43
bulbe
  buccal 38
  rachidien 66
  olfactif 66
bunodonte (dent) 36
byssus 10

C

cæcum 11, 13, 15, 32, 39
caillette 37
Calcisponge 4
canal
  collecteur 47
  éjaculateur 86
  hydrophore 20
  madréporique 20
canine (dent) 36
capillaire 72, 76
  aérien 44
  lymphatique 34
  sanguin 44, 47, 48, 73
capsule de Bowman 47, 48
carapace 17
cardiocœle 11
carnassière (dent) 36
carnivore 36
cartilage 59
cartilage de conjugaison 59
cavité
  buccale 32
  cœlomique 7, 9, 14, 17, 20, 46, 48, 58
  gastrovasculaire 5
  palléale 10, 11
cellule
  chloragogène 8, 46
  de Leydig 78
  de Schwann 67, 68
  de Sertoli 78, 82
  gliale 67, 96
  trachéolaire 42
centralisation 65, 66
centre nerveux 64-66, 68
céphalisation 9, 14, 16, 17, 65, 66
Céphalochordé 27, 50, 81
céphalon 13
Céphalopode 11
céphalothorax 13
cérébralisation 14, 15, 17, 65, 66
cerveau 7, 9, 15, 65, 66
cervelet 66
Cestode 12, 39
chaîne nerveuse 7, 13, 15, 17, 64, 65
charnière (coquille) 10
chélicère 17
Chélicériforme 17
chémorécepteur 62, 63
Chien 36
choanocyte 3
choanoderme 3
Choanoflagellé 4
chondroblaste 59
chondrocyte 59
chorde 23, 25, 27
Chordé 22, 23, 25, 27
  Ascidie 27
  Céphalochordé 27
  Lissamphibien 25
  pharyngotrémie 23, 25
  Urochordé 27
chorion 37, 86, 88
chromosome en écouvillon 81
chylifère 34
cil 1, 12, 63
ciliature 92
Cilié 1
cinétie 1
circulation 72, 75, 76
  double 26, 72
  pulmonaire 72
  systémique 72
Clitellate 9
clitellum 7, 87
Cnidaire 50, 81, 91
  cnidocyte 5
  diploblastique 5
  polype 5, 6
  système nerveux 64
cnidocil 5
cnidocyste 5
cnidocyte 5
coagulation 54
cochlée 62
cœlomate 8
cœlome 9, 11, 20 ,21, 27, 58, 76
cœlomoducte 8
cœur 10, 11, 13, 16, 22, 24, 26, 72, 75, 76
collencyte 3
collier périœsophagien 7, 13, 15
côlon 15, 30, 32, 34
colonie 2
colonne vertébrale 23, 25-27
colostrum 89
commissure nerveuse 10, 64, 65
conjugaison (*Paramécie*) 2
connectif nerveux 7, 10, 11, 13, 64, 65
coquille 10, 11, 51, 57
cordon nerveux 64
cornée 60
corps vitré 60
corpuscule de Herbst 61
corpuscule de Malpighi 47
couche cornée 92
couronne 36
crâne 22, 23, 26, 27
Criquet 15, 16, 29, 30, 49, 54, 58, 63, 75, 91
  abdomen 15
  absorption 30
  aile 15
  alimentation 29
  appareil circulatoire 16, 75
  appareil digestif 15
  appareil génital 15
  appareil respiratoire 15
  bouche 29
  cæcum gastrique 15, 30
  canal éjaculateur 86
  cerveau 15
  chaîne nerveuse 15
  chorion 86
  côlon 15, 30
  cuticule 15, 16, 58
  deutocérébron 15
  digestion 29, 30
  estomac 30
  exosquelette 58
  ganglion cérébroïde 15
  ganglion nerveux 15
  gésier 15, 29
  glande accessoire 86

Copyright © 2015 Dunod.

hémocœle 15, 16
hémocyte 54
hémolymphe 15, 16, 54
Hexapode 16
hyponeurien 15
iléon 15, 30
jabot 15, 29
mésentéron 15, 30
métamérie hétéronome 16
musculature 58
oothèque 86
oviducte 15, 86
patte 15
proctodeum 49
protocérébron 15
rectum 15, 30
spermathèque 15, 86
spermiducte 15, 86
squelette 58
stomodeum 15, 29
système immunitaire 54
système nerveux 15
tête 15
thorax 15
tissu adipeux 49
tritocérébron 15
tube digestif 29, 30
tube de Malpighi 15, 49
vagin 15, 86
vésicule séminale 86
cristallin 60
crypte de Lieberkühn 34
cuticule 13-19, 51, 57, 58
cyrtocyte 46
cytopharynx 1
cytoprocte 1
cytostome 1

D

Daphnie 14
dentine 36, 53
dent 32, 36
Chien 36
Porc 36
radula 38
Rat 32
Vache 36
denture 36
derme 9, 52, 53
Deutérostomien 21, 23-25, 27
deutocérébron 15, 65
développement 83, 88, 90
diaphragme 26, 27
diencéphale 22, 24, 26, 66
digestion 29, 30, 33-35
diploblastique 5
disque imaginal 16
dissépiment 7, 8
division binaire (*Paramécie*) 2
docoglosse (radula) 38
duodénum 34

E

écaille 22, 23, 53
placoïde 53
élasmoïde 53
Ecdysozoaire 17, 19
Échinide 21
Échinoderme 20, 21, 81, 91
Écrevisse 51
abdomen 13, 14
appareil circulatoire 13, 14
appareil digestif 13
appareil génital 13
appareil respiratoire 13
appendice 13
branchie 13, 40
céphalothorax 13
chaîne nerveuse 13
cuticule 13, 14, 51
épiderme 51
ganglion cérébroïde 13
ganglion nerveux 13
hémocœle 14
hyponeurien 13
métamérie 13, 14
organe sensoriel 13
soie 51
système nerveux 13, 14
tagme 14
tégument 51
tête 13
thorax 13, 14
ectoderme 9, 16
émail 36, 53
embryon 11, 27, 88
encéphale 22-24, 26, 27, 66
endoderme 9, 16
endomètre 83
endonèvre 67
endosquelette 21, 22, 27, 58, 59
endothélium 72-74
entérocœlie 21
entérocyte 34
épendyme 66
épiderme 9, 12, 14, 16, 19, 51-53, 57
épididyme 84
épineurien 22, 24, 25, 27
épinèvre 67
épiphyse 66
épithélioneurien 21
Éponge de toilette 4
érythrocyte 54
Escargot 80
ovotestis 80
estomac 11, 13, 30, 32, 33, 37
Étoile de mer 20, 21, 91
Eumétazoaire 5, 9, 11, 12, 14, 16, 17, 25, 27
Eumollusque 10, 11, 50, 51, 54, 81
appareil circulatoire 76
Bivalve 11
branchie 11
bulbe buccal 38
Céphalopode 11
cœlome 11
coquille 11, 51
épiderme 51
Gastéropode 11
Lamellibranche 11
larve véligère 11
mâchoire 38
manteau 11
pied 11
radula 11, 38
système nerveux 11
tête 11
tube digestif 38
velum 11
Euthérien 26
excrétion 46, 50
exosquelette 58
extérocepteur 63

F

face
aborale 20
orale 20
fécondation 18, 77, 83, 85-88, 90
feuillet 37, 40
fibre
musculaire 95
nerveuse 96
filière 17
fœtus 27, 88
foie 32, 34, 35, 39
follicule 70
cortical 77
de de Graaf 77
primaire 77
primordial 77
secondaire 77
forcipule 17

G

gamète 77-88, 90
gamétogenèse 78, 90
ganglion
cérébroïde 7, 10-13, 15, 17, 64
lymphatique 56
nerveux 13, 15, 64, 65, 67, 96
palléal 11
pédieux 10, 11
rachidien 67
sous-œsophagien 13
viscéral 10, 11
Gardon 22, 26, 53
appareil circulatoire 22
appareil digestif 22
appareil excréteur 22
appareil génital 22
appareil respiratoire 22
branchie 22, 41
cœur 22
derme 53
diencéphale 22
écaille 53
encéphale 22
épiderme 53
mésencéphale 22
métencéphale 22
moelle épinière 22
myélencéphale 22
peau 53
queue 22
système nerveux 22
tégument 53
télencéphale 22
tête 22
tronc 22
vessie gazeuse 22
Gastéropode 11
gastrocyte 33
gastrulation 9
gemmule 4
gésier 15, 16, 29, 33
gestation 89
glande
accessoire 86
coagulante 84, 85
corticosurrénale 69
de Bowman 62
de Brunner 34
digestive 32, 35
endocrine 69, 70, 93
exocrine 93
mammaire 26, 89
médullosurrénale 69
parathyroïde 70
salivaire 15, 32, 35
sébacée 52
séricigène 17
sudoripare 52
surrénale 69
thyroïde 70
uropygienne 52
verte 13, 14, 50
vitellogène 12
globule polaire 81
glomérule 47, 48
Gnathostome 32, 36
gonade 11, 13, 77, 80, 84, 90
gonochorisme 3, 9, 11, 13, 16, 90
gonocœle 11
gonocyte 3
gonoducte 10
granulocyte (leucocyte) 54
Grenouille 25, 26, 44, 48, 53, 62, 63, 66
appareil circulatoire 24
appareil digestif 24
appareil excréteur 24
appareil génital 24
appareil respiratoire 24
branchie 24
bulbe rachidien 66
bulbe olfactif 66
cervelet 66
chémorécepteur 62
colonne vertébrale 25
derme 53
diencéphale 66
encéphale 24
épiderme 53
épineurien 24, 25
épiphyse 66
épithélium olfactif 62
glandes de Bowman 62
hémisphère cérébral 66
hypothalamus 66
larve 25

Copyright © 2015 Dunod.

lobe optique 66
membre 24
mésencéphale 66
mésonéphros 48
métencéphale 66
moelle épinière 24, 25
myélencéphale 66
néphron 48
nerf 66
poumon 24, 25, 44
système nerveux 24, 25
tégument 53
télencéphale 66
têtard 24, 25
tête 24
Tétrapode 24
tronc 24
tube digestif 25
tube nerveux 24, 25, 66
Grillon 15, 16, 30, 60, 61, 65,79
centre nerveux 65
cerveau 65
chaîne nerveuse 65
commissure nerveuse 65
connectif nerveux 65
corps pédonculé 65
deutocérébron 65
ganglion nerveux 65
mécanorécepteur 61
métamérie hétéronome 16
œil composé 60
ommatidie 60
ovaire 79
protocérébron 65
soie sensorielle 61
soie tactile 61
tagme 16
tégument 61
testicule 79
tritocérébron 65
tube digestif 16, 30
gustation 62

H

Héliozoaire 2
hématopoïèse 55
hémisphère cérébral 66
hémocœle 14-17, 75
hémocyte 54
hémolymphe 11, 13-16, 49, 54, 75
hépatocyte 35
hépatopancréas 10, 11, 13, 39
herbivore 36
hermaphrodisme 9, 11, 12, 90
hétérométabole 16
Hexapode 15, 16
holométabole 16
Holothurie 21
Homme 52, 54, 56
cellule sanguine 54
derme 52
épiderme 52
érythrocyte 54
ganglion lymphatique 56
glande sébacée 52
glande sudoripare 52
granulocyte 54
leucocyte 54
lymphocyte 54
monocyte 54
organe lymphoïde 56
peau 52
phanère 52
plaquette 54
polynucléaire 54
poil 52
sang 54
tégument 52
thrombocyte 54
hormone 70, 71
Hydre d'eau douce
cavité gastrovasculaire 5
cnidocil 5
cnidocyste 5
cnidocyte 5
ectoderme 5
endoderme 5
gonochorique 6
hermaphrodite 6
larve planula 6
mésoglée 5
ovaire 6
reproduction asexuée 6
reproduction sexuée 6
symétrie radiaire 5
testicule 6
hydrocœle 20
hydrosquelette 2, 8, 12, 19, 58
hyponeurien 7, 11-13, 15, 17
hypophyse 70
hypothalamus 66
hypsodonte (dent) 36

I

iléon 15, 30, 34
îlot de Langerhans 69
immunité 54-56
incisive (dent) 36
influx nerveux 68
Insecte 15, 16, 29, 31, 49, 50, 60, 79, 81, 86, 91
appareil broyeur 29
appareil broyeur-lècheur 31
appareil piqueur-suceur 31
appareil suceur 31
Criquet 16
Grillon 16
hémolymphe 75
labium 29, 31
labre 29, 31
mandibule 29, 31
maxille 29, 31
ocelle 60
œil composé 60
ommatidie 60
ovaire 79
pièce buccale 29, 31
sac aérien 42
soie 63
testicule 79
tube de Malpighi 49
voie génitale 86
interradius 20
intestin 8, 10-13, 34
grêle 32, 34
gros 34
intima 73, 74

J

jabot 15, 16, 29
jéjunum 34

L

labium 29, 31
labre 29, 31
lactation 89
Lamellibranche 10, 11
langue 32
Lapin 34, 55, 56, 62, 69
bourgeon du goût 62
chémorécepteur 62
côlon 34
glande corticosurrénale 69
glande médullosurrénale 69
glande surrénale 69
intestin (gros) 34
hématopoïèse 55
lymphocyte 55
nodule lymphoïde 56
olfaction 62
organe lymphoïde primaire 55
organe lymphoïde secondaire 56
plaque de Peyer 56
larve 16, 18, 25, 27
amphiblastula 4
auricularia 21
bipinnaria 21
dipleurula 21
échinoplutéus 21
métatrochophore 9
nauplius 14
planula 3
trochophore 9, 11
véligère 11
leucocyte 54
Lézard 44, 52
derme 52
écaille 52
épiderme 52
phanère 52
pneumocyte 44
poumon 44
tégument 52
ligne latérale 61
limitante élastique 73
Limule 17
liquide
cœlomique 46, 48
interstitiel 46, 74, 76
Lissamphibien 48, 50, 63, 81
lobe optique 66
locomotion 58, 63
loi de Fick 45
Lombric 46, 51, 58, 64, 87
Annélide 7, 8, 80
appareil circulatoire 7, 8
appareil digestif 7
appareil génital 7, 8, 87
cavité cœlomique 7, 8, 46, 58
cellule chloragogène 8
chaîne nerveuse 7, 64
clitellum 7, 87
cœlome 58
collier périœsophagien 7
connectif nerveux 7, 64
cuticule 8, 51
dissépiment 7, 8
épiderme 8
ganglion cérébroïde 7, 64
ganglion nerveux 64
gonade 80
hermaphrodisme 7, 80
hydrosquelette 8, 58
intestin 8
métamère 7, 8
métamérie 7
musculature 58
néphridie 7
néphridiopore 8, 46
néphrostome 8, 46
nerf 64
neuropile 64
Oligochète 80
ovaire 7, 8, 80
oviducte 7, 8, 80
ovisac 80
ovule 87
péristomium 7
prostomium 7, 8
pygidium 7, 8
sac testiculaire 8, 80
soie 7, 51
somatopleure 8
spermathèque 7, 8, 80, 87
spermatogenèse 87
spermatozoïde 87
spermiducte 7, 87
splanchnopleure 8
système nerveux 7, 68
tégument 51
testicule 7, 8
tronc 7
tube néphridien 46
vésicule séminale 7, 8, 80, 87
vessie 46
Lophotrochozoaire 9, 11, 12
lymphocyte 54-56
B 55, 56
T 55, 56

M

mâchoire 32, 36, 38
macronoyau 1
macrophagie 39
madréporite 20, 21
MALT (tissu lymphoïde associé aux muqueuses) 56

Copyright © 2015 Dunod.

Index

Mammifère 26, 32, 34, 47, 50, 52, 56, 57, 60, 62, 69, 70, 81, 88, 89
appareil circulatoire 26, 27, 72, 74
dent 36
derme 52
développement 88
épiderme 52, 57
Euthérien 26
foie 35
glande corticosurrénale 69
glande thyroïde 70
glande salivaire 35
glande sébacée 52
glande sudoripare 52
hypophyse 70
immunité 55, 56
intestin grêle 34
lymphocyte 56
œil camérulaire 60
œsophage 32
organe lymphoïde 56
ovaire 77
pancréas 35
peau 52
phanère 52, 57
pharynx 32
placenta 26
poil 52
Souris 26, 27, 47
spermatogenèse 82
système endocrinien 70
tégument 52
testicule 78
tube digestif 34
Vertébré 26
viviparité 88
voie génitale 83-85, 88
voie urinaire 47
Mandibulate 14, 16, 17
mandibule 13, 14, 16, 17, 29, 31
manteau 10, 11
masse viscérale 10, 11
maxille 13, 29, 31
maxillipède 13
maxillule 13
mécanorécepteur 61, 62
média 73, 74
mégacaryocyte 55
membre 24, 27
chiridien 25, 26
méninge 66
Mérostome 17
mésencéphale 22, 24, 26, 66
mésenchyme 9, 12, 59
mésentère 9
mésentéron 15, 16, 30
mésoderme 9, 12
mésoglée 5
mésohyle 3
mésonéphros 25, 48
métamère 7, 8, 9, 13, 14, 15
céphalique 14
métamérie 7, 9, 13, 14, 16, 17, 21, 27
hétéronome 9, 14, 16
homonome 9
métamorphose 24
métanéphridie 46, 50
métanéphros 48
Métazoaire 40
métencéphale 22, 24, 26, 66
micronoyau 1
microphagie 39
Mille-pattes 17
moelle épinière 22, 24-27, 66, 67
molaire (dent) 36
monocyte 54
morula 88
Mouche 16, 31
appareil buccal suceur 31
asticot 16
disque imaginal 16
holométabole 16
Insecte 31
larve 16
trompe 31
Moule 10, 11, 51
Bivalve 10
branchie 10, 40
byssus 10
cavité palléale 10
coquille 10, 51
épiderme 51
hépatopancréas 10
Lamellibranche 10
manteau 10
masse viscérale 10
pied 10
système nerveux 10, 68
moulinet gastrique 13
mucocyte 34
mucus 57
mue 16-19
muqueuse 32-34
muscle 59
pariétal 58
squelettique 59
musculature 58, 59, 63
myélencéphale 22, 24, 26, 66
myéline 68
myocarde 72
myocyte 59, 95
myomètre 83
Myriapode 17

N

Nématode 18, 19, 76
néoblaste 12
néphridie 7, 9
néphridiopore 8, 12, 46
néphrocœle 11
néphron 47, 48
néphrostome 8, 46, 48
Néréis 9
nerf 64-68, 96
neurohormone 71
neurohypophyse 70
neuromaste 61, 63
neurone 68, 71, 96
neuropile 64, 65, 66, 68, 96
neuropode 9
nodule lymphoïde 56
notopode 9
nutrition 39, 50

O

ocelle 15, 60
odontoblaste 36, 38
œil 17, 63
camérulaire 60
composé 13, 15, 16, 60
œsophage 11, 13, 15, 16, 32, 37
œuf 9, 18, 77, 78, 83, 86, 88, 90
Oiseau 33, 50, 52, 57, 61, 63, 81
appareil respiratoire 44
corpuscule de Herbst 61
épiderme 52, 57
estomac 33
glande uropygienne 52
mécanorécepteur 61
phanère 52, 57
plume 52
Poussin 33
tégument 52, 61
ventricule succenturié 33
vol 63
olfaction 62
oligodendrocyte 68
ommatidie 60
omnivore 36
oothèque 86
opisthosome 17
oreille 25, 26, 62
oreillette 11, 72
organe
de Bojanus 10
de Corti 62, 63
excréteur 47, 50
génital 79
immunitaire 54
lymphoïde 55, 56
neurohémal 70, 71
sensoriel 13, 60, 62, 63
vestibulaire 62
os 58, 59
oscule 3
osmotrophie 12
ossification 59
ossification
de membrane 59
dermique 59
enchondrale 59
ostéoblaste 59
ostiole 16, 75
ouïe 41
Oursin 21, 81
ovaire 6, 7, 8, 12, 15, 18, 24, 26, 77, 79-81, 90
ovariole 79
oviducte 7, 8, 12, 13, 15, 18, 24, 26, 80, 83, 86, 88
oviparité 86, 90
oviposition 86
ovisac 80
ovocyte 79-81, 90
I 77, 81
II 77, 81
ovogenèse 79, 81
ovogonie 77, 80, 81, 90
ovotestis 80, 90
ovotide 77, 81, 90
ovulation 77
ovule 77, 81, 83, 86

P

palpe labial 10
pancréas 32, 34, 35, 39
endocrine 69
exocrine 35
Pancrustacé 14
panse 37
parabronche 44
Paramécie 1, 2
parapode 9, 40
Parazoaire 3, 4
pars intercerebralis 15
parthénogenèse 14, 16
peau 52, 53
pédicellaire 20
pédipalpe 17
pénis 12, 84, 85
péréion 13, 14
péréiopode 13
péricarde 11, 72, 75
périnèvre 67
péristaltisme 34
péristomium 7
Petite Douve 12
phagotrophie 39
phanère 52, 57
pharyngotrème 23, 25, 27
pharynx 12, 15, 16, 25, 32
photorécepteur 60, 63
phyllotrachée 42
pièce buccale 29, 31
pied 10, 11
ambulacraire 20
pinacocyte 3
pinacoderme 3
piquant 20, 21
placenta 26, 88
Planaire 12 , 46, 60, 64
acœlomate 12
appareil digestif 12
appareil excréteur 12, 46
appareil génital 12
commissure nerveuse 64
cordon nerveux 64
cyrtocyte 46
ganglion cérébroïde 64
hermaphrodisme 12
hydrosquelette 12
hyponeurien 12
mésenchyme 12
nerf 64
neuropile 64
ocelle 60
photorécepteur 60
protonéphridie 46
vessie 46
plaque de Peyer 34, 56
plaque sincipitale 9
plaquette 54
plasmocyte 56
Plathelminthe 12, 50, 64
Cestode 12

Copyright © 2015 Dunod.

commissure nerveuse 64
cordon nerveux 64
ganglion cérébroïde 64
nerf 64
neurone 71
neuropile 64
Trématode 12
Turbellarié 12
pléon 13, 14
pléopode 13
plexus 67, 96
d'Auerbach 67
plume 52
polynucléaire (leucocyte) 54
pneumocyte 44
I 43
II 43
poil 26, 52
tactile 61
polarité
antéro-postérieure 91
apico-basale 91
dorso-ventrale 91
orale-aborale 20, 91
proximo-distale 91
rostro-caudale 91
polype 5
Porifère 3, 4, 76
poumon 24, 26, 43-45
cavitaire 44
lamellaire 42
parenchymateux 43
sacculaire 44
tubulaire 44
Poussin 33, 52, 67
épiderme 52
ganglion rachidien 67
gésier 33
glande uropygienne 52
Oiseau 33
phanère 52
plume 52
tégument 52
ventricule succenturié 33
prémolaire (dent) 36
proctodeum 15, 16, 49
proglottis 12
pronéphros 25, 48
propriocépteur 63
prosome 17
prostate 84, 85
Protostomien 9, 11, 12, 17, 68
prostomium 7, 8
protocérébron 15, 65
protonéphridie 9, 12, 46
prototroche 9
pseudocœlomate 19
pseudocœlome 18, 19
pygidium 7, 8

Q

queue 22, 25, 26

R

rachiglosse (radula) 38
racine (dent) 36
radius 20
radula 11, 38
Buccin 38
Littorine 38
Ormeau 38
Patelle 38
Rat 33-35, 61, 67, 69
bronche 43
bronchiole 43
cavité buccale 32
cœur 72
côlon 34
dent 32
duodénum 34
foie 35
glande salivaire 35
iléon 34
îlot de Langerhans 69
intestin 34
jéjunum 34
langue 32
lèvre 32
mâchoire 32
mécanorécepteur 61
œsophage 32
pancréas 35, 69
plexus d'Auerbach 67
poil tactile 61
salive 35
trachée 43
tube digestif 34
vaisseau sanguin 73
Vertébré 32
vibrisse 61
voie respiratoire 43
rate 56
réabsorption (excrétion) 50
récepteur sensoriel 63, 96
rectum 11, 15, 30, 32
régulation 71
rein 11, 22-26, 47-50
cortex 47
médulla 47
d'accumulation 46, 49, 50
rénette 18
réponse immunitaire 54
reproduction 77, 78
reproduction asexuée 2, 4, 6, 12, 16, 90
reproduction sexuée 78, 80, 83-90
Actinoptérygien 23
Annélide 9
Ascaris 18
Échinoderme 21
Escargot 90
Eumollusque 11
Grenouille 24, 90
Hexapode 16
Hydre d'eau douce 6
Insecte 90
Lombric 90
Mammifère 90
Oiseau 90
Pancrustacé 14
Planaire 12
Sycon 4
respiration 39, 45
rétine 60
rétinule 60
rhabdome 60
rhipidiglosse (radula) 38
Roussette 41, 53
ruminant 37

S

sac
aérien 15, 42, 44
testiculaire 8, 80
salive 35
sang 46-48, 54, 72, 73, 76
Sangsue 9
schizocœlie 9
sclérocyte 3
sclérotique 60
scolex 12
sécodonte (dent) 36
sécrétion (excrétion) 50, 93
segmentation 9
Sélacien 41, 53
sélénodonte (dent) 36
Silicisponge 4
sinus 11, 76
sinus axial 20
soie 7, 9, 17, 51, 63
sensorielle 61
tactile 61
somatopleure 8
Souris 26, 27, 35, 52, 56, 59, 60, 66, 67, 70, 72, 82
abdomen 26, 27
appareil circulatoire 27, 74
appareil digestif 26, 27, 32
appareil excréteur 26, 47
appareil génital 26, 83, 84
appareil respiratoire 26
artère musculaire 73
artériole 73
bronche 43
bronchiole 43
cæcum 32
capillaire sanguin 73
cellule de Schwann 67
cellule gliale 67
cervelet 66
chorde 27
cœur 26
côlon 32
colonne vertébrale 27
crâne 26, 27
derme 52
diaphragme 26, 27
embryon 88
encéphale 26, 27, 66
épiderme 52
estomac 32
fœtus 27
foie 32, 35
glande coagulante 85
glande cutanée 52
glande digestive 32
glande parathyroïde 70
glande salivaire 32
glande sébacée 52
glande sudoripare 52
glande thyroïde 70
intestin grêle 32
Mammifère 26, 27, 47
membre chiridien 26
méninge 66
métanéphros 48
moelle épinière 26, 27
morula 88
muscle 59
myocyte 59
nerf 67
œil camérulaire 60
œsophage 32
organe excréteur 47
organe lymphoïde 56
ovocyte 81
pancréas 32, 35
peau 52
pénis 85
phanère 52
poil 26, 52
poumon 26
prostate 85
queue 26
rate 56
rectum 32
rein 26, 47
squelette 59
substance blanche 66
substance grise 66
système nerveux 26, 27
tégument 52
testicule 78
tête 26
thorax 26, 27
trachée 43
tronc 26, 27
tube digestif 32
tube nerveux 26, 27
uretère 47
urètre 47
Vertébré 27, 32
vésicule séminale 85
vessie 47
voie respiratoire 43
spermathèque 7, 8, 15, 80, 86, 87
spermatide 78, 79, 82, 90
spermatocyte 79, 80, 90
I 78, 82
II 78, 82
spermatogenèse 79, 82, 87
spermatogonie 78, 80, 82, 87, 90
spermatophore 86
spermatozoïde 78-80, 82, 84-87
sperme 84, 85
spermiducte 7, 8, 12, 13, 15, 84, 86, 87
spermiogenèse 78, 82
spicule 3, 4, 18
splanchnopleure 8
Spongille 4
squelette 4, 6, 10, 17, 21, 22, 25, 26, 58, 59, 63
stéréocil 92
stigmate 15, 42
stomodeum 15, 16, 29
stylet
buccal 31

Copyright © 2015 Dunod.

Index

cristallin 11
stylopode 24, 26
substance blanche 66
substance grise 66
Sycon 4
symbiote 37
symétrie
axiale 91
bilatérale 91
centrale 91
plane 91
pentaradiée 20, 21
radiaire 8, 91
système
à contre-courant 74
endocrinien 69-71
hydrovasculaire 20, 21
immunitaire 54, 57
latéral 61
stomatogastrique 68
sympathique 68
parasympathique 68
système nerveux 7, 9, 11, 12, 21, 23, 60, 64-68, 71
Amphioxus 27
Arthropode 17
Ascaris 18
Bilatérien 64
central 96
Cnidaire 64
Criquet 15
Écrevisse 13, 14
Étoile de mer 20
Eumollusque 11
Gardon 22
Grenouille 24, 25
Lombric 7, 68
Moule 10, 68
périphérique 96
Protostomien 68
Souris 26, 27
végétatif 68

T

taenioglosse (radula) 38
tagme 14, 16, 17
tégument 10, 19, 21, 25, 40, 51-53, 57, 61, 63
télencéphale 22, 24, 26, 66
Téléostéen 50, 53, 61, 81
branchie 41
derme 53
épiderme 53
ligne latérale 61
neuromaste 61
peau 53
système latéral 61
tégument 53, 61
telson 13, 14, 17
Ténia échinocoque 12
test 21
testicule 6, 7, 8, 12, 15, 18, 24, 26, 78-80, 82, 84, 90
têtard 24, 25
tête 9, 11, 13-16, 17, 22, 24, 26
Tétrapode 24-26
thèque 77
thorax 13-16, 26, 27
thrombocyte 54
thymus 55
thyréocyte 70
tissu 93
adipeux 49, 94
conjonctif 94
épithélial 92, 93
musculaire 95
nerveux 96
squelettique 94
trachée 15, 42, 43
Trématode 12
trichobranchie 40
trichocyste 1
triploblastique 9
tritocérébron 15, 65
trompe 31
tronc 7, 9, 17, 22, 24-27
trophoblaste 88
Truite 23, 53, 61
alevin 23
appareil circulatoire 23
appareil digestif 23
appareil respiratoire 23
branchie 23, 41
chorde 23
colonne vertébrale 23
derme 53
écaille 53
encéphale 23
épiderme 53
ligne latérale 61
moelle épinière 23
neuromaste 61
peau 53
système latéral 61
tégument 53, 61
Téléostéen 61
tube digestif 23
tube nerveux 23
Vertébré 23
vessie gazeuse 23
vessie natatoire 23
Trypanosome 2
tube
collecteur 47
de Malpighi 15, 49, 50
digestif 9, 12, 14, 16, 23, 25, 29, 30, 32, 34, 35, 38, 39
néphridien 46
nerveux 22-27, 66
séminifère 78, 82
tubule urinaire 48
Turbellarié 12
typhlosole 8

U

ultrafiltration (excrétion) 50
uréotélie 50
uretère 47, 48
urètre 47, 84
uricotélie 50
Urochordé 27
urospermiducte 84
utérus 12, 18, 24, 26, 83, 88

V

vacuole 1
vagin 15, 18, 83, 86
vaisseau 76
sanguin 8, 72-74, 76
valve 10, 75
veine 72, 74, 76
libre 74
veinule 74
velum 6
ventilation 40-45
ventouse 9, 12
ventricule
cœur 11, 72
encéphale 66
succenturié 33
Vertébré 22, 25, 32, 33, 37, 41, 44, 48, 50, 52, 53, 56, 57, 59, 62, 66-68, 81
appareil circulatoire 72-74, 76
appareil digestif 32, 35
appareil excréteur 48
appareil respiratoire 41, 43, 44
bronche 43
bronchiole 43
cartilage 59
cartilage de conjugaison 59
centre nerveux 66
cerveau 66
chondroblaste 59
chondrocyte 59
cœlome 27
colonne vertébrale 26, 27
crâne 22
derme 52, 53
Deutérostomien 27
embryon 27
encéphale 66
endosquelette 22, 27, 58, 59
épiderme 52, 53, 57
épineurien 22, 27
estomac 33
ganglion nerveux 67
Gardon 22
glande digestive 32, 35
Grenouille 24, 25, 53, 58, 62
Homme 54
immunité 55
influx nerveux 68
larve 27
Lissamphibien 25
Mammifère 26
membre 24-27
mésonéphros 48
métamérie 27
moelle épinière 66
musculature 58
myéline 68
néphron 48
nerf 67
neurone 68
œil 63
œsophage 32
os 58
ossification 59
ostéoblaste 59
ovocyte II 81
peau 52, 53
phanère 52
pharyngotrémie 27
plexus 67
pronéphros 48
Rat 32
récepteur sensoriel 68
rein 48
Souris 27, 32
squelette 58
système endocrinien 71
système nerveux 67, 68
tégument 52, 53
Tétrapode 25
thymus 55
trachée 43
Truite 23
tube digestif 32, 35
Vache 37
Vairon 23
vertèbre 22
voie respiratoire 43, 44
voie urinaire 48
vésicule séminale 7, 8, 12, 15, 18, 80, 84-87
vessie
gazeuse 22, 23
natatoire 23
urinaire 13, 46-48
vibrisse 61
villosité 34
vitellogenèse 81
vitellus 81
viviparité 83, 88, 90
voie
génitale 83-86, 88, 90
respiratoire 43, 44
urinaire 47, 48
Vorticelle 2

Z

zeugopode 24-26
zone pellucide 88
zygote 77, 78, 80, 83, 85, 86, 88, 90

Copyright © 2015 Dunod.

Liste des dénominations scientifiques des espèces

Dans le texte de cet ouvrage, les espèces étudiées sont désignées par leurs noms vernaculaires. Le lecteur intéressé trouvera dans cette liste leurs noms scientifiques lorsqu'ils sont déterminés.

A

Abeille : *Apis mellifera*
Amibe : espèce indéterminée
Amphioxus : *Branchiostoma lanceolatum*
Aplysie : *Aplysia sp.*
Araignée : espèces indéterminées
Arénicole : *Arenicola marina*
Ascaris : *Ascaris lumbrocoides*
Astérie bosselée : *Asterina gibbosa*

B

Buccin : *Buccinum undatum*

C

Canard : espèce indéterminée
Chat : *Felis silvestris*
Chien : *Canis familiaris*
Cione : *Ciona intestinalis*
Coquille Saint-Jacques : *Pecten maximus*
Criquet : *Locusta migratoria*

D

Daphnie : *Daphnia sp.*

E

Écrevisse : *Astacus leptodactylus*
Éléphant : *Elephas maximus*
Éponge mie de pain : *Halichondria panicea*
Escargot : *Helix pomatia*
Étoile de mer : *Asterias rubens*

G

Gardon : *Rutilus rutilus*
Grenouille : *Pelophylax esculentus*
Grillon : *Gryllus sp.*

H

Héliozoaire : espèce indéterminée
Holothurie : *Pseudocolochirus sp.*
Homme : *Homo sapiens*
Huître : espèce indéterminée
Hydre d'eau douce : *Hydra sp.*

L

Lapin : *Oryctolagus cuniculus*
Lézard : *Podarcis muralis*
Limule : *Limulus sp.*
Littorine : *Littorina littoralis*
Lombric : *Lumbricus terrestris*

M

Martinet : *Apus apus*
Mille-pattes : *Lithobius sp.*
Mouche : *Calliphora sp.*
Moule : *Mytilus edulis*
Moustique : *Culex pipiens*

N

Néréis : *Nereis diversicolor*

O

Obélie : *Obelia sp.*
Ormeau : *Haliotis tuberculata*
Oursin : *Paracentrotus lividus*

P

Papillon : espèce indéterminée
Paramécie : *Paramecium sp.*
Patelle : *Patella sp.*
Petite Douve : *Dicrocoelium lanceolatum*
Planaire : (*Dugesia sp.* pour la protonéphridie) espèce indéterminée
Porc : *Sus domesticus*
Poussin : *Gallus gallus*
Punaise : *Pyrrhocoris apterus*

R

Raie : espèce indéterminée
Rat : *Rattus norvegicus*
Roussette : *Scyliorhinus canicula*

S

Sangsue : *Clepsine* (espèce indéterminée)
Seiche : *Sepia officinalis*
Souris : *Mus musculus*
Spongille : *Spongilla sp.*
Sycon : *Sycon sp.*

T

Ténia : *Taenia sp.*
Ténia échinocoque : *Echinococcus sp.*
Tomate de mer : *Actinia equina*
Triton : *Triturus sp.*
Truite : espèce indéterminée
Trypanosome : *Trypanosoma brucei*

V

Vache : *Bos taurus*
Vairon : *Phoxinus phoxinus*
Veau : *Bos taurus*
Ver à soie : *Bombyx mori*
Vorticelle : espèce indéterminée

Copyright © 2015 Dunod.

Crédits iconographiques

Fiche 1, figures 2, 3 et 4 ; **Fiche 2**, figure 6 : don de Monsieur le Docteur Brugerolle, Université de Clermont-Ferrand.

Fiche 3, figure 1 : Media for Medical/Alamy/Nature Photographers Ltd

Fiche 4, figure 3 : d'après Beaumont A. et Cassier P., 2004.

Fiche 9, figures 3 et 4 : don de Monsieur le Docteur Bhaud, Laboratoire Arago de Banyuls-sur-Mer.

Fiche 21, figure 5 : Biosphoto/Ross & Diane Armstrong/Hedgehog House/Minden Pictures

Fiche 46, figure 1 : don de Monsieur le Docteur Keller, Université Henri Poincaré - Nancy I.

Fiche 91, figure 5 : d'après Callen J.-C., 2005.

Toutes les illustrations non mentionnées dans cette liste sont des auteurs.