

CHAPITRE 42

Le corps animal et les principes de régulation

Aperçu du chapitre

- 42.1 Organisation du corps des vertébrés
- 42.2 Tissu épithélial
- 42.3 Tissu conjonctif
- 42.4 Tissu musculaire
- 42.5 Tissu nerveux
- 42.6 Vue d'ensemble des systèmes d'organes des vertébrés
- 42.7 Homéostasie
- 42.8 Régulation de la température corporelle



Introduction

Lorsqu'il est question d'animaux, la plupart des gens pensent à leurs chiens, leurs chats ou aux animaux qu'ils ont aperçus dans un zoo, une ferme, un aquarium ou parfois à l'état sauvage. Quand on parle de diversité animale, ils pensent aux différences entre des prédateurs, des lions ou des tigres, et leurs proies herbivores, les antilopes, ou entre un requin féroce et un dauphin espiègle. Ces animaux sont différents, mais tous sont des vertébrés. Ils partagent la même structure de base, avec des tissus et des organes qui fonctionnent de manière similaire. La micrographie montre une portion du duodénum, une partie du système digestif, qui est composé de plusieurs types de tissu. Dans ce chapitre, nous commençons par un examen détaillé de la biologie des vertébrés ainsi que des structures et fonctions fascinantes de leur corps. Nous concluons ce chapitre en explorant les principes impliqués dans la régulation et le contrôle des systèmes fonctionnels complexes.

42.1 Organisation du corps des vertébrés

Objectifs

1. Énumérer les niveaux d'organisation corporelle des vertébrés.
2. Identifier les types tissulaires des vertébrés.
3. Décrire comment les cavités corporelles sont organisées.

Chez les vertébrés, le corps est organisé en quatre niveaux : (1) les cellules, (2) les tissus, (3) les organes et (4) les systèmes d'organes. Comme tous les animaux, les vertébrés sont faits de différents types cellulaires. Selon le groupe, entre 50 et plusieurs centaines de types cellulaires différents composent le corps d'un vertébré. Les humains ont 210 types cellulaires différents.

Les tissus sont des groupes de cellules d'un seul type et d'une seule fonction

Les cellules qui partagent les mêmes structures et fonctions forment des tissus. Au début du développement, les cellules se différencient en trois tissus fondamentaux, appelés **feuilletts embryonnaires**. De l'intérieur vers l'extérieur, on distingue l'endoderme, le mésoderme et l'ectoderme. Ces feuilletts, à leur tour, se différencient pour former les divers types cellulaires et tissulaires qui caractérisent le corps des vertébrés.

L'adulte est fait de quatre formes principales de tissus, les **tissus primaires**, qui sont : (1) **épithéliaux**, (2) **conjonctifs**, (3) **musculaires** ou (4) **nerveux**. (voir section 42.5).

Les organes et systèmes d'organes exercent des fonctions spécialisées

Les *organes* sont des structures corporelles composées de plusieurs tissus différents qui forment une unité structurale et fonctionnelle (figure 42.1). Prenons le cœur comme exemple. Il contient du muscle, le myocarde, du tissu conjonctif et un épithélium. Du tissu nerveux connecte le cerveau et la moelle épinière avec le cœur et contribue à réguler les battements cardiaques.

Un *système d'organes* est un groupe d'organes qui coopèrent dans l'exécution des activités corporelles majeures. Par exemple, le système circulatoire est composé du cœur et des vaisseaux sanguins (artères, capillaires et veines) (voir chapitre 49). Ces organes coopèrent dans le transport du sang et contribuent à la distribution des substances dans le corps. Celui des vertébrés contient 11 systèmes d'organes principaux.

Le plan corporel général des vertébrés est un tube à l'intérieur d'un tube, avec un support interne

Tous les vertébrés partagent la même architecture corporelle, dont le plan fondamental consiste en deux tubes ; l'un, suspendu à l'intérieur de l'autre, correspond au tractus digestif, qui s'étend d'une extrémité à l'autre du corps, de la bouche à l'anus. Un squelette interne fait d'os articulés ou de cartilage articulé qui grandit en même temps que le corps supporte le tube extérieur, qui constitue le corps principal des vertébrés. La couche la plus externe du corps des vertébrés est le tégument, ou la peau et ses nombreux organes et tissus accessoires, les cheveux, plumes, écailles et glandes sudoripares.

Les vertébrés ont des cavités corporelles dorsale et ventrale

À l'intérieur du corps des principaux vertébrés, deux cavités sont identifiables. La *cavité corporelle dorsale* est celle formée par les enveloppes osseuses que sont le crâne et la colonne vertébrale. Le crâne entoure le cerveau et les vertèbres empilées constituent un canal qui contient la moelle épinière.

La *cavité corporelle ventrale* est beaucoup plus vaste ; à l'avant, elle s'étend de la zone délimitée par la cage thoracique à la colonne vertébrale ; à l'arrière, elle s'étend des muscles ventraux (les abdominaux) à la ceinture pelvienne. Chez les mammifères, un feuillet musculaire, le diaphragme, divise la cavité ventrale en une cavité thoracique antérieure qui contient le cœur et les poumons, et une *cavité abdomino-pelvienne* postérieure qui contient de nombreux organes : l'estomac, les intestins, le foie, les reins et la vessie (figure 42.2a).

De la description du plan corporel animal au chapitre 33, il faut vous rappeler que le coelome est une cavité remplie de liquide, formée complètement dans la couche de mésoderme embryonnaire de certains animaux. Le coelome est présent chez les vertébrés, mais comparé à celui

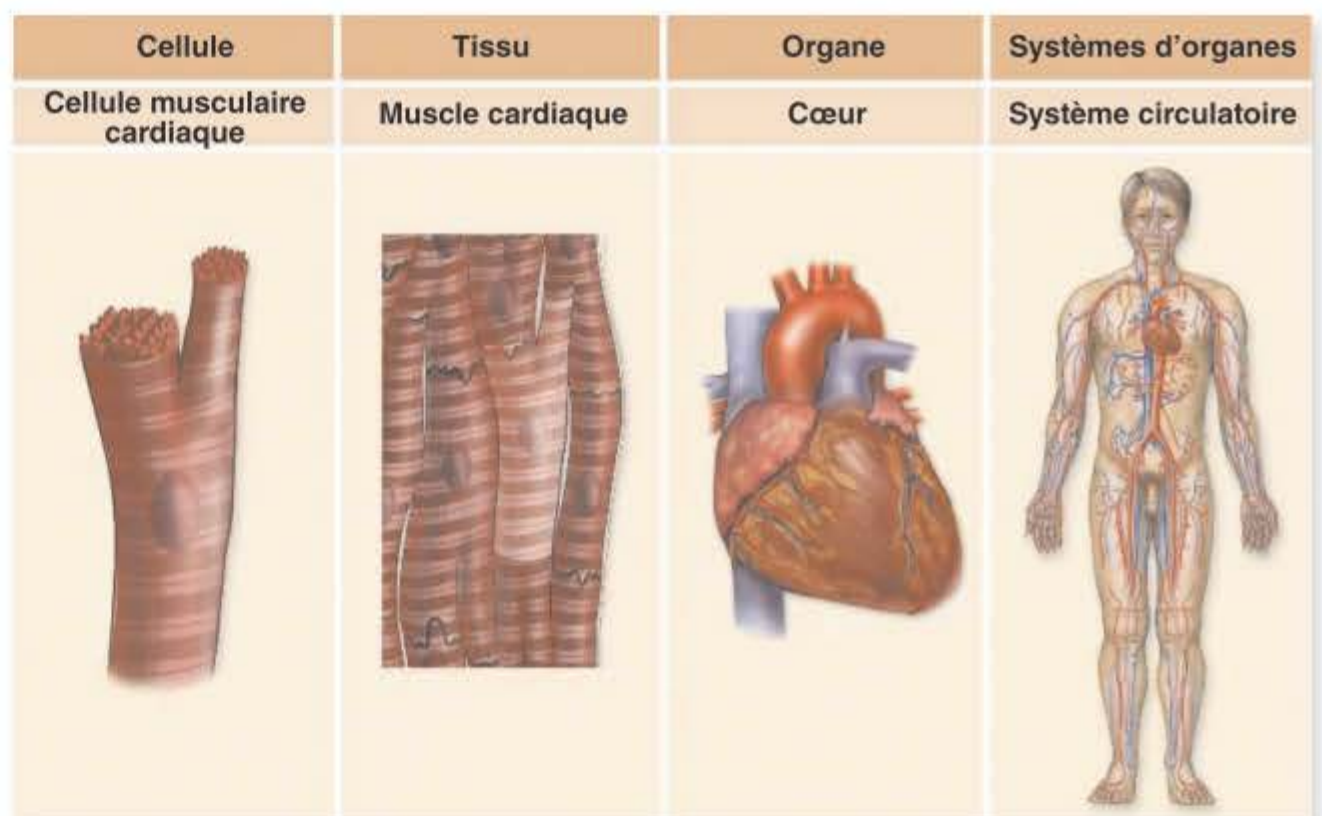
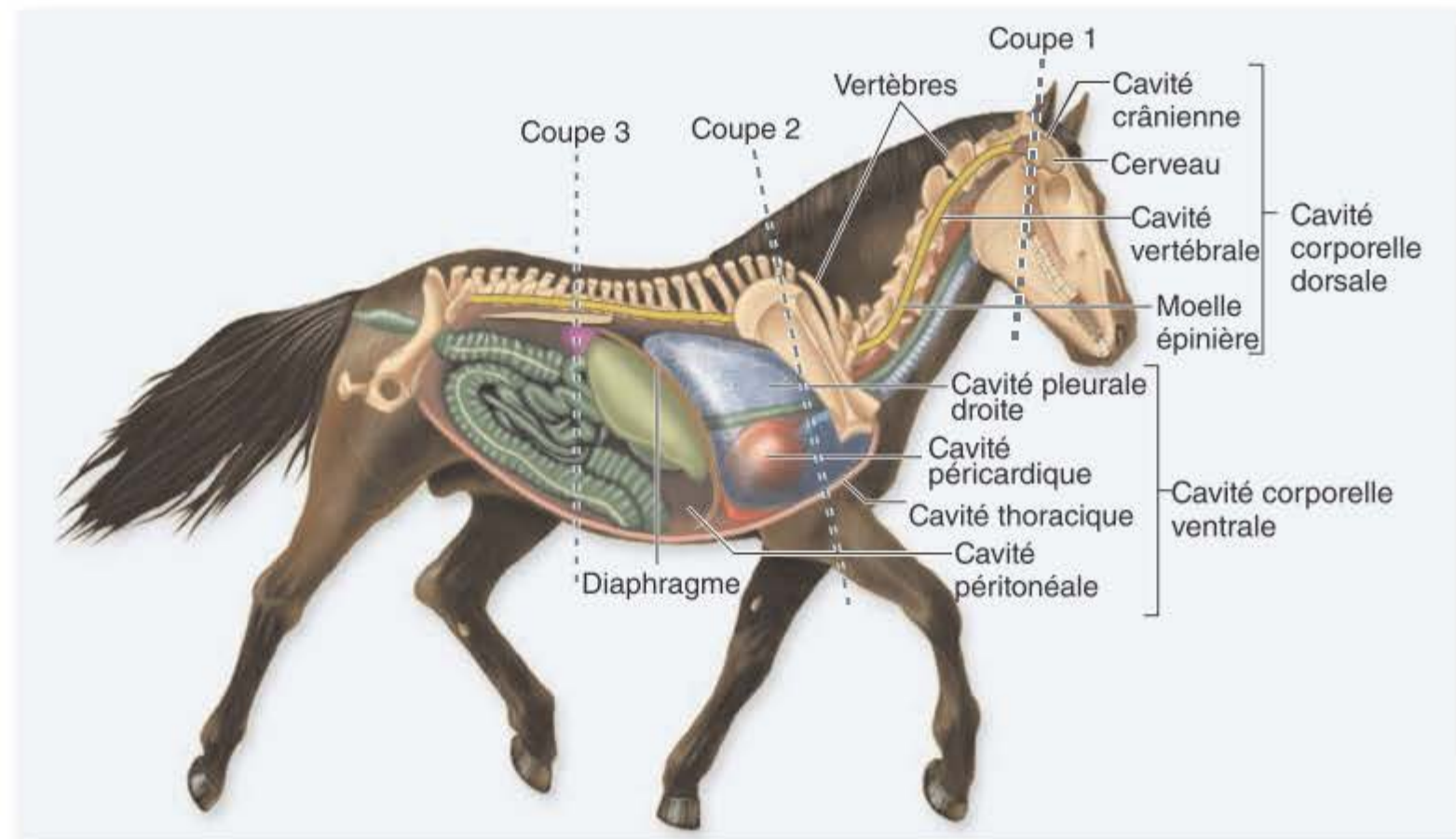


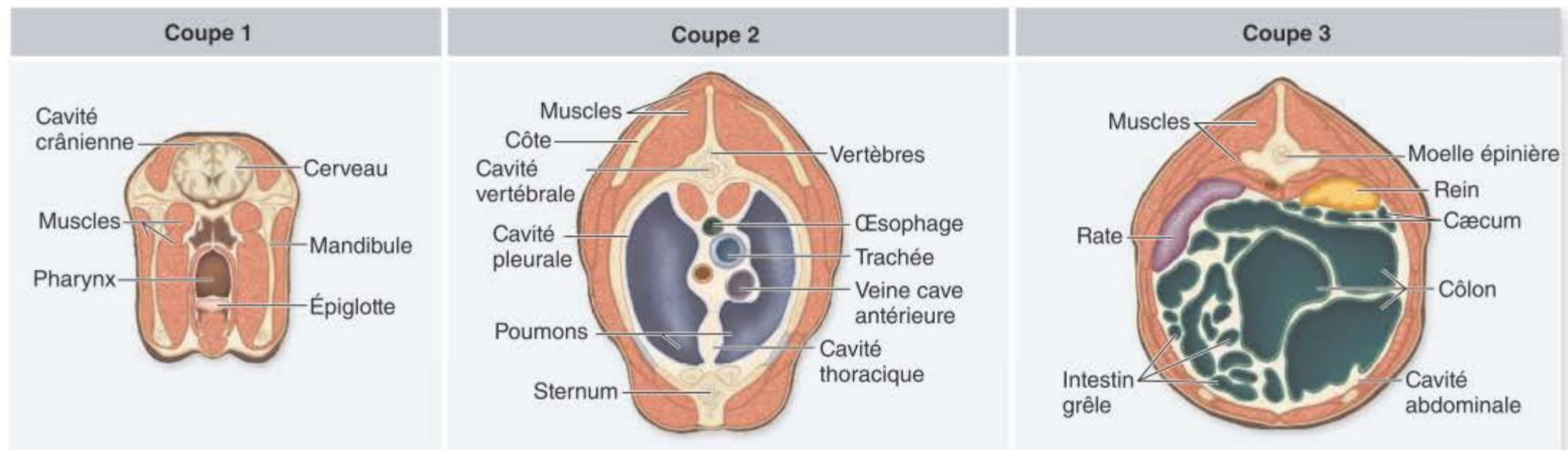
Figure 42.1 Niveaux d'organisation corporelle. Des types cellulaires semblables opèrent ensemble et forment des tissus, qui en coopérant constituent un organe comme le cœur, qui est composé principalement du muscle cardiaque tapissé de tissu épithélial. Plusieurs organes collaborant dans l'exécution d'une fonction corporelle sont appelés système d'organes, dont un exemple est le système circulatoire, qui comporte le cœur et les vaisseaux sanguins.

Figure 42.2 Architecture corporelle des vertébrés.

a. Tous les vertébrés ont des cavités corporelles dorsale et ventrale. La cavité dorsale comprend une partie crânienne, qui contient le cerveau, et une partie vertébrale qui contient la moelle épinière. Chez les mammifères, une membrane musculaire divise la cavité ventrale en cavités thoracique et abdomino-pelvienne. **b.** Des coupes transversales dans trois régions du corps montrent les relations entre les cavités du corps, les organes principaux et les cavités coelomiques : péricardique, pleurale et péritonéale.



a.



b.

des invertébrés, il est réduit, replié, et subdivisé. La couche mésodermique qui tapisse le coelome s'étend de la paroi du corps pour envelopper et suspendre plusieurs organes dans la cavité ventrale (figure 42.2b). Dans la cavité abdomino-pelvienne, l'espace coelomique est la *cavité péritonéale*.

Dans la cavité thoracique, le cœur et les poumons prennent beaucoup de place et réduisent l'espace coelomique. Le mince espace au sein des couches mésodermiques autour du cœur est la *cavité péricardique*, et les espaces minces autour des poumons sont les *cavités pleurales* (figure 42.2b).

Synthèse 42.1

Les cellules du corps sont organisées en tissus, qui à leur tour forment des organes et des systèmes d'organes. Les principaux types tissulaires chez les vertébrés sont les tissus épithéliaux, conjonctifs, musculaires et nerveux. Le corps des humains et des autres mammifères contient les cavités thoracique et abdomino-pelvienne. Le coelome adulte se subdivise en cavités péritonéale, péricardique et pleurale.

- Un organe peut-il comporter plus d'un tissu ?

42.2 Tissu épithélial

Objectifs

1. Décrire la structure et la fonction d'un épithélium.
2. Identifier les types cellulaires trouvés dans une membrane épithéliale.
3. Expliquer la structure et la fonction des différents épithéliums.

Une membrane épithéliale, ou **épithélium**, couvre toute surface corporelle chez les vertébrés. Les membranes épithéliales sont dérivées des trois feuilletts embryonnaires. L'épiderme, dérivé de l'ectoderme, constitue la partie externe de la peau. La surface interne du tractus digestif est bordée par un épithélium dérivé de l'endoderme, et les surfaces internes des cavités corporelles sont couvertes d'un épithélium dérivé du mésoderme. Certains épithéliums se transforment au cours de l'embryogenèse en glandes spécialisées en une activité sécrétrice.

Un épithélium forme une barrière

Puisque toutes les surfaces corporelles sont couvertes par des membranes épithéliales, une substance doit nécessairement traverser un épithélium pour pénétrer dans le corps ou en sortir. Une membrane épithéliale intervient donc comme une barrière qui empêche le passage de certaines substances tout en facilitant le passage d'autres. Pour les vertébrés terrestres, l'imperméabilité relative de l'épithélium de surface (épiderme) à l'eau offre une protection essentielle contre la déshydratation et contre les pathogènes (organismes causant des maladies) se propageant par l'air. Par ailleurs, l'épithélium qui couvre le tractus digestif doit permettre l'entrée sélective des produits de la digestion tout en empêchant l'entrée des substances toxiques, et l'épithélium des poumons doit permettre une diffusion rapide des gaz dans et hors du sang.

Une caractéristique de tous les épithéliums est l'adhérence étroite des cellules ne laissant qu'un espace minime entre elles. Dès lors, les nutriments et l'oxygène doivent diffuser vers les cellules épithéliales à partir de vaisseaux sanguins irriguant les tissus conjonctifs sous-jacents. Ceci impose une limite à l'épaisseur des membranes épithéliales ; la plupart ne sont épaisses que d'une couche cellulaire ou de quelques-unes.

Régénération épithéliale

Un épithélium est doté d'un pouvoir de régénération remarquable, remplaçant constamment ses cellules au cours de la vie de l'animal. Par exemple, le foie, une glande formée à partir d'un tissu épithélial, peut facilement se régénérer après qu'une portion substantielle a été réséquée chirurgicalement. L'épiderme se renouvelle toutes les deux semaines, et l'épithélium intragastrique est remplacé tous les deux à trois jours. Cette capacité de régénération est utile pour un tissu de surface car, en renouvelant constamment la couche protectrice, elle permet aussi son remplacement rapide en cas de lésion ou de blessure.

Structure des tissus épithéliaux

Les tissus épithéliaux sont attachés aux tissus conjonctifs sous-jacents par une membrane fibreuse. La partie sécurisée de l'épithélium est appelée *surface basale*, et le côté libre est la *surface apicale*. Cette différence donne aux tissus épithéliaux une polarité inhérente, qui est souvent importante pour la fonction du tissu. Par exemple, des protéines insérées dans les surfaces basales des cellules épithéliales de certains tubules rénaux transportent activement l'ion Na^+ dans les espaces intercellulaires, créant un gradient osmotique qui permet de ramener l'eau dans le sang (voir chapitre 50).

Les types épithéliaux reflètent leur fonction

Il existe deux classes générales de membranes épithéliales : les *simples* et les *stratifiées*. Ces classes se subdivisent en pavimenteuses, cubiques et prismatiques, selon la forme des cellules (tableau 42.1). Les *cellules pavimenteuses* sont plates, les *cubiques* sont aussi larges que hautes, et les *prismatiques* sont plus hautes que larges.

Épithélium simple

Comme mentionné, les épithéliums simples ne comportent qu'une seule couche cellulaire. Examiné en coupe, un épithélium simple est composé de cellules pavimenteuses qui ont une forme aplatie. Par exemple, de telles membranes bordent les poumons et les capillaires, où la nature fine et délicate de ces épithéliums permet un passage rapide des molécules (comme la diffusion des gaz).

Un épithélium cubique simple borde les tubules rénaux et plusieurs glandes. Dans le cas des glandes, ces cellules sont spécialisées dans la sécrétion.

Un épithélium prismatique ou cylindrique simple borde, entre autres, les voies aériennes du tractus respiratoire et le tractus gastro-intestinal. De nombreuses *cellules caliciformes*, spécialisées dans la sécrétion de mucus, sont insérées entre les cellules épithéliales prismatiques. Le pôle apical (la surface qui fait face à la lumière ou à la cavité) des cellules épithéliales prismatiques des voies aériennes respiratoires portent des cils qui déplacent le mucus vers la gorge. Dans l'intestin grêle, la surface apicale des cellules épithéliales prismatiques forme des projections digitées appelées *microvillosités*, qui augmentent la surface d'absorption de la nourriture.

La taille élargie des cellules cubiques et cylindriques accommode les activités intracellulaires nécessaires à la production des sécrétions glandulaires et à l'absorption active de substances, ou aux deux. Les glandes des vertébrés dérivent d'invaginations épithéliales. Dans les **glandes exocrines**, la connexion entre la glande et la membrane épithéliale est maintenue sous forme d'un canal. Le produit de la glande transite par les canalicules et canaux jusqu'à la surface de la membrane épithéliale et ainsi vers le milieu extérieur (ou vers un compartiment intérieur qui s'ouvre à l'extérieur, comme le tractus digestif). Parmi les exemples de glandes exocrines, citons les glandes sudoripares et sébacées, dont les sécrétions couvrent la surface externe de la peau, et les glandes salivaires. Les glandes endocrines sont des glandes dépourvues de canalicules ; leur connexion avec l'épithélium à partir duquel elles dérivent a disparu au cours du développement. Dès lors, leurs sécrétions, appelées hormones, ne sont pas transférées sur une membrane épithéliale. Les hormones entrent dans les capillaires sanguins et circulent à travers le corps. Les **glandes endocrines** sont décrites plus en détail au chapitre 45.

Épithélium stratifié

Les épithéliums stratifiés sont faits de plusieurs couches cellulaires et doivent leur nom aux caractéristiques des couches supérieures. Par exemple, l'épiderme est un épithélium pavimenteux stratifié, ses propriétés sont décrites au chapitre 51. Chez les vertébrés terrestres, on parle également d'épithélium kératinisé, puisque sa couche superficielle est faite de cellules pavimenteuses mortes, remplies d'une protéine résistant à l'eau, la kératine.

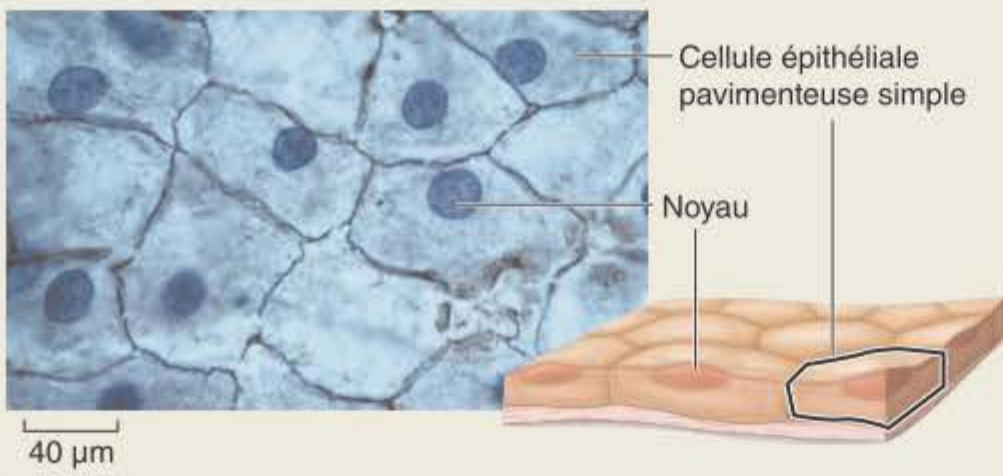
Le dépôt de kératine dans la peau peut être augmenté en réponse à l'abrasion, ce qui produit des callosités. La propriété de résistance à l'eau de la kératine est évidente lorsque l'on compare la peau avec la zone rouge des lèvres, qui se dessèche et gerce facilement parce que l'épithélium pavimenteux stratifié qui la couvre n'est pas kératinisé.

Synthèse 42.2

Les tissus épithéliaux constituent généralement des barrières, notamment des membranes qui recouvrent toutes les surfaces du corps et les glandes. Un épiderme a une surface basale qui s'attache à un tissu conjonctif sous-jacent et une surface apicale libre. Certains épithéliums sont spécialisés dans la protection, tandis que ceux qui couvrent les surfaces des organes creux peuvent être spécialisés dans le transport et la sécrétion. Un épithélium simple a une couche unique de cellules et peut être classé comme pavimenteux, cubique, prismatique ou pseudostratifié ; un épithélium stratifié est principalement pavimenteux.

- Comment un épithélium glandulaire fonctionne-t-il différemment de celui qui borde votre intestin ?

ÉPITHÉLIUM SIMPLE



Pavimenteux

Localisation typique

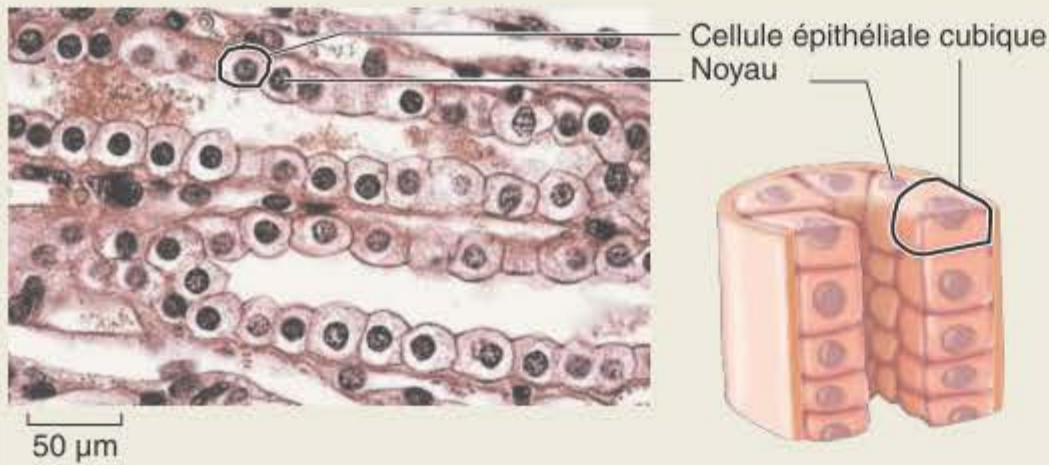
Borde les poumons, les parois des capillaires et les vaisseaux sanguins

Fonction

Les cellules forment une couche mince facilitant la diffusion

Types cellulaires caractéristiques

Cellules épithéliales



Cubique

Localisation typique

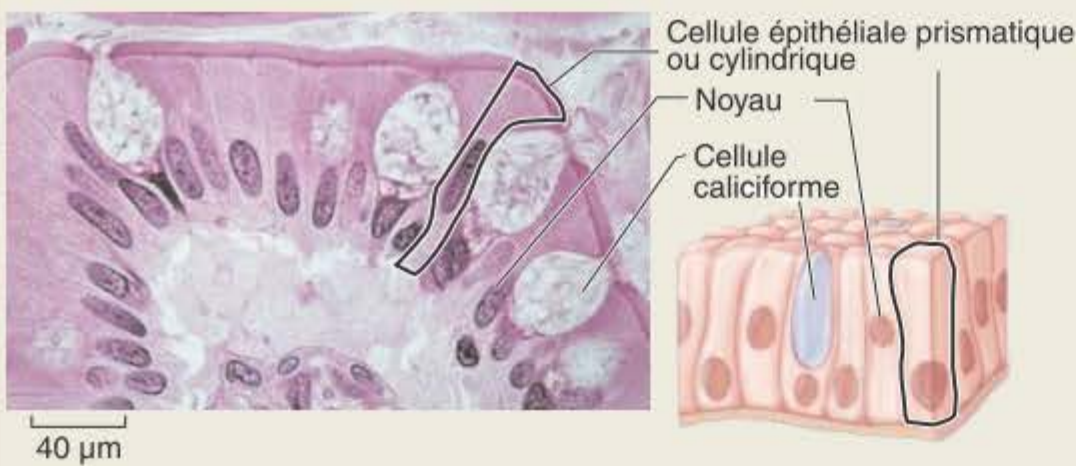
Certaines glandes et les tubules rénaux; couvre les ovaires

Fonction

Cellules riches en canaux transporteurs spécifiques; fonction de sécrétion et d'absorption

Types cellulaires caractéristiques

Cellules glandulaires



Prismatique ou cylindrique

Localisation typique

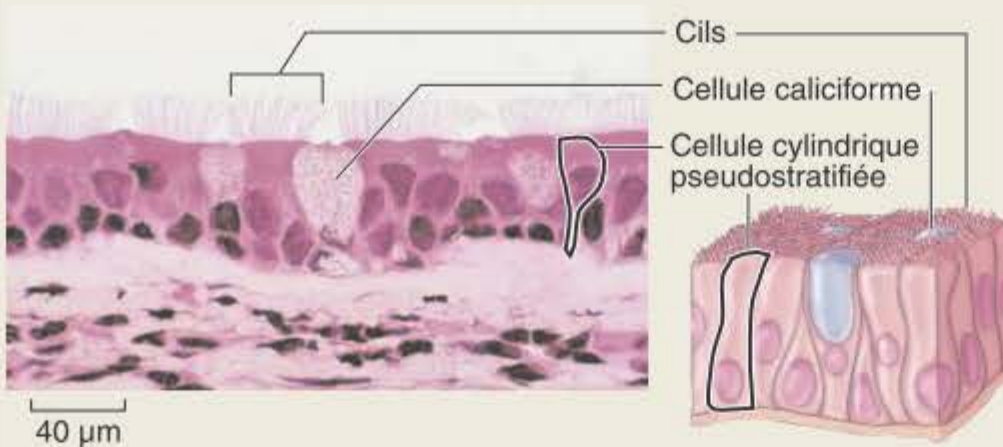
Surface bordant l'estomac, l'intestin et des parties du tractus respiratoire

Fonction

Couche cellulaire plus épaisse; protège, sécrète et absorbe

Types cellulaires caractéristiques

Cellules épithéliales



Cylindrique pseudostratifié

Localisation typique

Borde des parties du tractus respiratoire

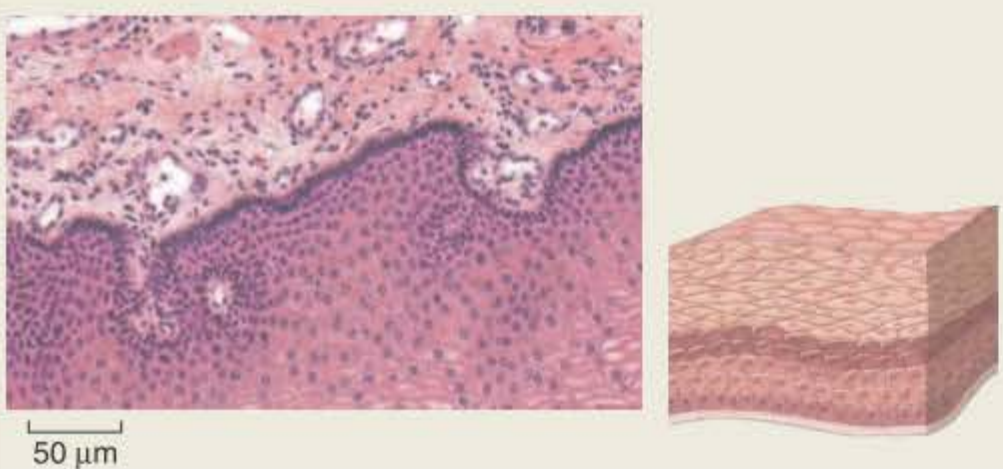
Fonction

Sécrète du mucus; les cils assurent le mouvement du mucus; activité protectrice

Types cellulaires caractéristiques

Cellules de glandes; cellules épithéliales ciliées

ÉPITHÉLIUM STRATIFIÉ



Pavimenteux

Localisation typique

Couche externe de la peau; borde la bouche

Fonction

Couche cellulaire résistante; activité protectrice

Types cellulaires caractéristiques

Cellules épithéliales

42.3 Tissu conjonctif

Objectifs

1. Décrire la structure et la fonction du tissu conjonctif.
2. Identifier les différents types de tissu conjonctif.
3. Énumérer les cellules qui produisent du tissu conjonctif.

Les tissus conjonctifs dérivent du mésoderme embryonnaire et se présentent sous de nombreuses formes différentes (tableau 42.2). Ces diverses formes sont divisées en deux classes principales : le *tissu conjonctif proprement dit*, qui est lui-même subdivisé en tissus conjonctifs lâches et denses, et en **tissus conjonctifs spécialisés**, qui comprennent le cartilage, les os et le sang.

À première vue, il peut paraître bizarre que des tissus aussi divers soient regroupés en une même catégorie. Mais, tous les tissus conjonctifs partagent une propriété structurale commune : tous comportent une matière extracellulaire abondante, dans laquelle les cellules sont largement dispersées. Cette matière extracellulaire est appelée, pour tous les tissus conjonctifs, matrice tissulaire. Dans l'os, la matrice extracellulaire contient des cristaux qui assurent la dureté de l'os ; dans le sang, la matrice extracellulaire est le plasma, la fraction liquide du sang. La matrice elle-même consiste en fibres protéiques et en **substance fondamentale**, le liquide entre les cellules et les fibres contenant diverses protéines et polysaccharides.

Le tissu conjonctif proprement dit peut être lâche ou dense

Au cours du développement du tissu conjonctif lâche et du tissu conjonctif dense, des cellules appelées fibroblastes produisent et sécrètent la matrice extracellulaire. Le tissu conjonctif lâche contient d'autres cellules, entre autres des mastocytes et des macrophages, des cellules du système immunitaire.

Tissu conjonctif lâche

Le **tissu conjonctif lâche** consiste en cellules dispersées dans une matrice riche en substance fondamentale. Cette matière gélatineuse est renforcée par un réseau lâche de fibres protéiques comme le collagène, qui supporte le tissu en formant un treillis (figure 42.3), l'élastine, qui donne au tissu son élasticité, et la réticuline, qui contribue au support assuré par le collagène. La gélatine utilisée entre autres en cuisine est obtenue par l'ébullition prolongée de tissu conjonctif lâche d'origine animale.

Les **adipocytes** ou cellules adipeuses, nécessaires au stockage des nutriments, peuvent aussi être présentes dans le tissu conjonctif lâche. Dans certains endroits du corps, entre autres sous la peau, dans la moelle osseuse et autour des reins, ces cellules se regroupent et forment ainsi le **tissu adipeux** (figure 42.4).

Chaque adipocyte contient une goutte de triglycérides à l'intérieur d'une vésicule de stockage. Lorsque la graisse est nécessaire pour répondre à un besoin énergétique, l'adipocyte hydrolyse les triglycérides accumulés et sécrète dans le sang des acides gras, qui seront oxydés dans les cellules des muscles, du foie et d'autres organes. Le nombre d'adipocytes chez un adulte est en général fixe car ces cellules sont incapables de

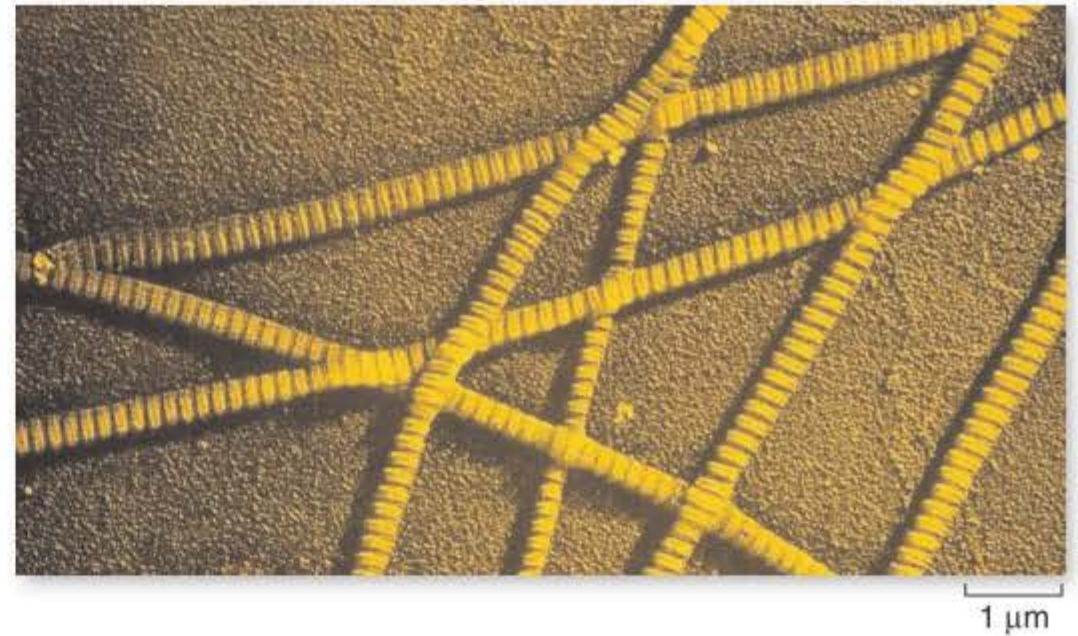


Figure 42.3 Fibres de collagène. Ces fibres, examinées au microscope électronique, sont composées de nombreuses fibrilles individuelles de collagène et peuvent résister à une forte traction.

se diviser. Lorsqu'une personne grossit, les adipocytes augmentent de volume, et lorsqu'elle maigrit, ils se rétractent.

Tissu conjonctif dense

Dans le **tissu conjonctif dense**, plus pauvre en substance fondamentale, les fibres de collagène sont tassées, ce qui le rend plus robuste que le tissu conjonctif lâche. Il en existe deux types : le régulier et l'irrégulier. Les fibres de collagène du *tissu conjonctif dense régulier* sont alignées en parallèle, comme les torons d'une corde. C'est la structure des tendons, qui ancrent les muscles aux os, et des ligaments, qui attachent les os entre eux.

Au contraire, les fibres de collagène du *tissu conjonctif dense irrégulier* ont de nombreuses orientations différentes. Ce type de tissu conjonctif constitue les membranes résistantes qui enveloppent des organes ; ce sont par exemple les capsules des reins et des glandes surrénales. Il couvre aussi les muscles, les nerfs et les os.

Les tissus conjonctifs spécialisés ont des propriétés uniques

Les tissus conjonctifs spécialisés, le cartilage, l'os et le sang, ont chacun des cellules et une matrice extracellulaire qui leur sont propres et leur permettent d'exercer des fonctions spécialisées.

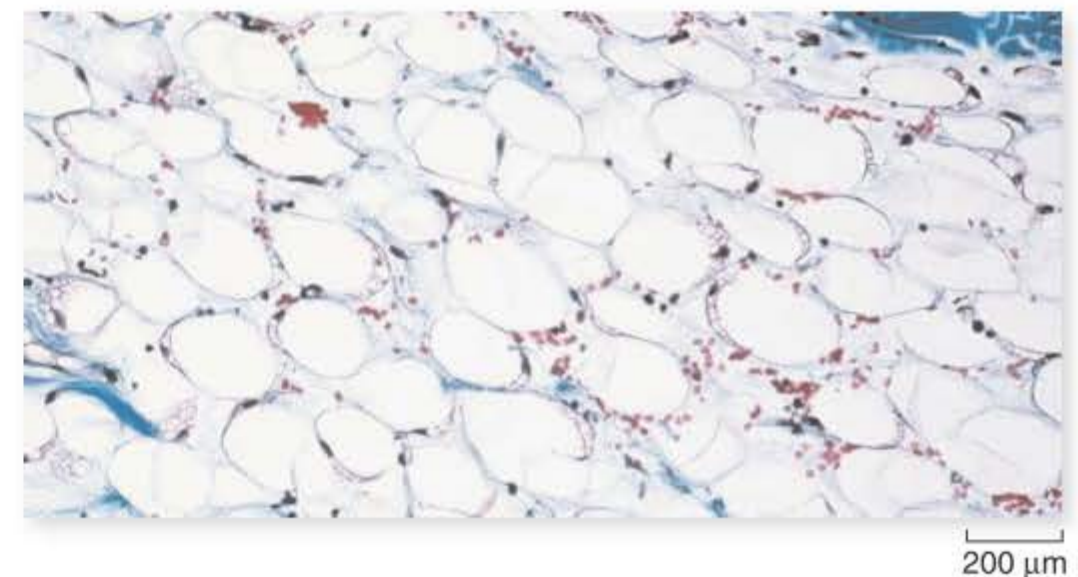


Figure 42.4 Tissu adipeux. La graisse s'accumule sous forme de globules de tissu adipeux, un type de tissu conjonctif lâche. Lorsqu'une personne grossit ou maigrit, la taille des globules adipeux augmente ou diminue. Une personne ne peut réduire le nombre de cellules adipeuses en perdant du poids.

TABLEAU 42.2

Tissu conjonctif



58 µm

Élastine

Collagène



Tissu conjonctif lâche

Localisation typique

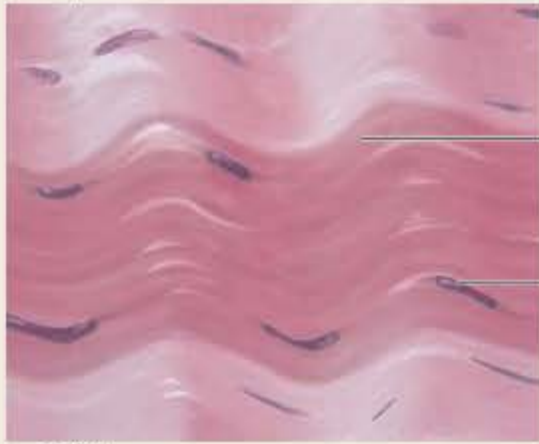
Sous la peau; entre les organes

Fonction

Assure le soutien, l'isolation, le stockage de nutriments et l'alimentation des épithéliums

Types cellulaires caractéristiques

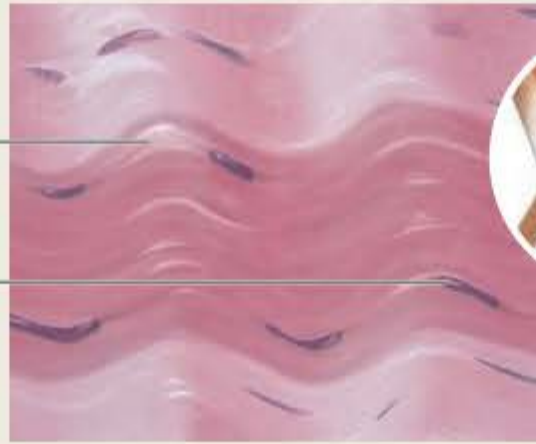
Fibroblastes, macrophages, mastocytes, adipocytes



170x

Fibres de collagène

Noyaux des fibroblastes



Tissu conjonctif dense

Localisation typique

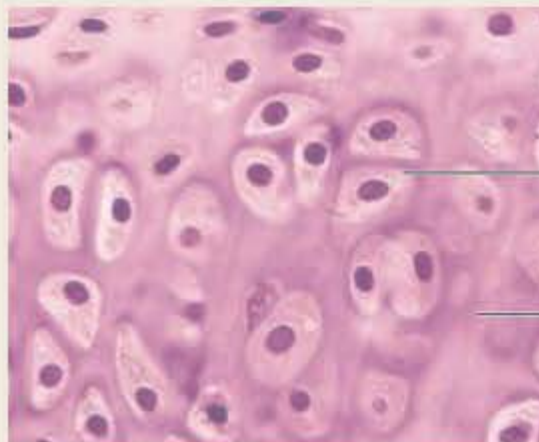
Tendons; enveloppe des muscles, des reins, du foie; derme cutané

Fonction

Assure des connexions solides et souples

Types cellulaires caractéristiques

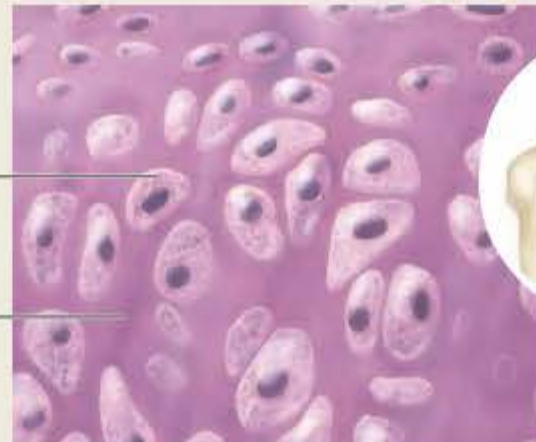
Fibroblastes



100 µm

Chondrocyte

Substance fondamentale



Cartilage

Localisation typique

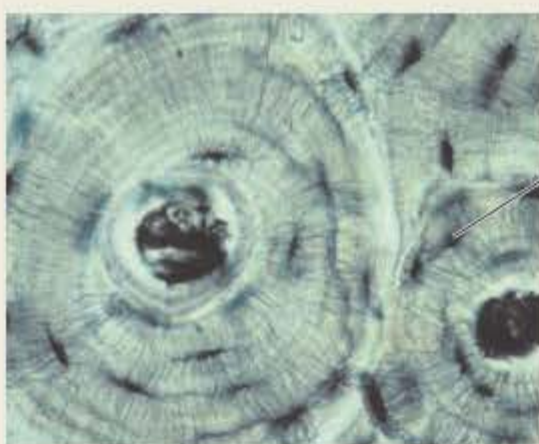
Disques intervertébraux; genoux et autres articulations; oreilles; nez; anneaux trachéaux

Fonction

Fournit un support souple, absorbe les chocs et réduit la friction entre les surfaces porteuses de charges

Types cellulaires caractéristiques

Chondrocytes



100 µm

Ostéocyte



Os

Localisation typique

La plus grande partie du squelette

Fonction

Protège les organes internes; fournit les points d'ancrage musculaire

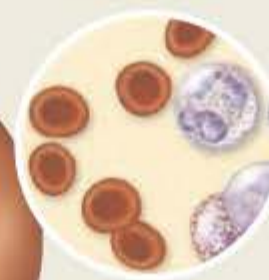
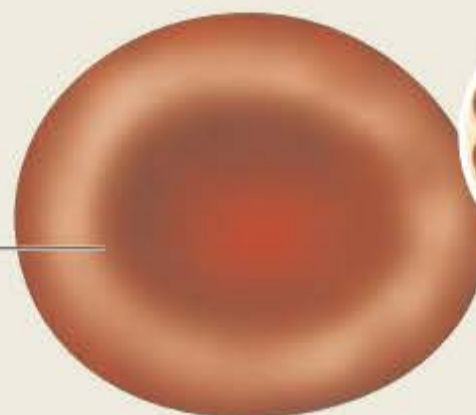
Types cellulaires caractéristiques

Ostéocytes



6 µm

Globules rouges



Sang

Localisation typique

Système circulatoire

Fonction

Fonctionne comme voie de circulation des cellules immunitaires; transporte des nutriments et des déchets; est le principal moyen de communication entre organes

Types cellulaires caractéristiques:

érythrocytes, leucocytes

Cartilage

Le **cartilage** (figure 42.2) est un tissu conjonctif spécialisé dont la substance fondamentale contient une glycoprotéine caractéristique, la *chondroïtine*, et des fibres de collagène disposées en réseaux parallèles au long des lignes de traction. Le résultat est un tissu ferme, souple et inextensible, de loin plus robuste que le tissu conjonctif lâche ou dense et très résistant aux tractions.

Le squelette des agnathes modernes et des poissons cartilagineux est constitué, dans son entièreté, de cartilage (voir chapitre 35). Chez la plupart des vertébrés adultes, le cartilage est restreint aux surfaces des os là où ils se rejoignent pour former les charnières articulaires. Chez l'homme, il est aussi présent dans certains sites particuliers, par exemple le bout du nez, le pavillon de l'oreille, les disques intervertébraux de la colonne, le larynx (la boîte vocale) et quelques autres structures.

Les *chondrocytes*, les cellules du cartilage, vivent dans des espaces appelés **lacunes** au sein de la substance fondamentale du cartilage. Ces cellules restent en vie, même si il n'y a pas de vaisseaux sanguins dans la matrice du cartilage, parce qu'elles reçoivent l'oxygène et les nutriments par diffusion à travers la substance fondamentale à partir des vaisseaux sanguins environnants. Cette diffusion est possible parce que la matrice cartilagineuse est hydratée et non calcifiée comme celle de l'os.

Os

Les cellules osseuses, les **ostéocytes**, restent en vie même si la matrice extracellulaire devient de plus en plus dure à la suite du dépôt de cristaux de phosphate de calcium. Les vaisseaux sanguins passent par les canaux dits de Havers à l'intérieur de l'os, fournissant les nutriments tout en éliminant les déchets. Les ostéocytes projettent des extensions vers les ostéocytes voisins à travers des canaux étroits, les *canalicules*. Les ostéocytes communiquent avec les vaisseaux sanguins des canaux de Havers par l'intermédiaire de ce réseau cytoplasmique. L'os est décrit plus en détail, avec les muscles, au chapitre 47.

Au cours du développement fœtal, les os des vertébrés, que ce soient les nageoires, les bras ou les jambes, parmi d'autres appendices, sont d'abord constitués de cartilage, qui se calcifie ensuite en différents endroits, jusqu'à ce que les chondrocytes deviennent incapables d'accéder à l'oxygène et aux nutriments par diffusion à travers la matrice. Le cartilage mourant dégénère et est remplacé progressivement par de l'os vivant.

Sang

Le *sang* est classé comme tissu conjonctif sur base de l'abondance de la composante extracellulaire représentée par le liquide appelé plasma. Les cellules sanguines sont les *érythrocytes*, ou globules rouges, et les *leucocytes*, ou globules blancs (figure 42.10). Le sang contient également des plaquettes, ou *thrombocytes*, qui sont des fragments d'un type de cellule de la moelle osseuse. Nous décrivons plus complètement le sang au chapitre 49.

Tous les tissus conjonctifs se ressemblent

Alors que la description des types de tissu conjonctif suggère que chacun exerce des fonctions spécifiques, ils ont cependant des points communs. Comme dit plus tôt, tous les tissus conjonctifs dérivent du mésoderme et ils contiennent un matériel extracellulaire abondant, la matrice ; cependant les substances qui composent cette matrice diffèrent dans chaque type de tissu conjonctif. Des cellules spécialisées pour chacun sont enfouies dans la matrice extracellulaire.

Synthèse 42.3

Les tissus conjonctifs sont caractérisés par d'abondantes substances extracellulaires formant une matrice entre des cellules organisées de manière lâche. Le tissu conjonctif proprement dit est classé comme lâche ou dense. Les tissus conjonctifs spéciaux ont, entre leurs cellules, une matrice extracellulaire unique. La matrice du cartilage est composée de matériaux organiques, tandis que celle des os consiste en cristaux de calcium. La matrice du sang est un fluide, le plasma.

- Pourquoi le sang est-il considéré comme du tissu conjonctif ?

42.4 Tissu musculaire

Objectifs

1. Identifier les caractères uniques des cellules musculaires.
2. Décrire les trois types musculaires et les cellules musculaires.

Les cellules musculaires sont en quelque sorte les moteurs du corps des vertébrés. Elles se caractérisent par l'abondance relative et l'organisation des filaments d'actine et de myosine. Bien que ceux-ci soient présents dans toutes les cellules eucaryotes, où ils forment un réseau ténu qui contribue aux mouvements cellulaires, ils sont beaucoup plus nombreux et organisés dans les cellules musculaires, dont la fonction spécialisée est la contraction.

Les vertébrés possèdent trois sortes de muscles : les *lisses*, les *squelettiques* et les *cardiaques* (tableau 42.3). Les muscles squelettiques et les cardiaques sont aussi appelés *muscles striés* parce qu'en examinant une coupe longitudinale au microscope, on observe des stries transversales. La contraction de chaque muscle squelettique est sous contrôle volontaire, tandis que la contraction cardiaque et des muscles lisses est en général involontaire.

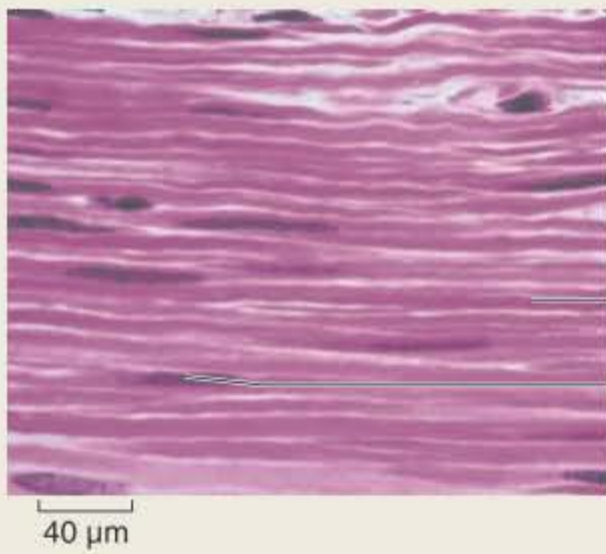
Le muscle lisse est présent dans la plupart des organes

Au cours de l'évolution, c'est le **muscle lisse** qui fut la première forme musculaire à se développer, et on la retrouve dans tout le règne animal. Chez les vertébrés, le muscle lisse est présent dans les organes internes, ou *viscères*, d'où la dénomination de *muscle viscéral*. Le tissu musculaire lisse est organisé en feuillets de cellules longues ayant une forme de fuseau, chaque cellule contenant un seul noyau. Dans certains tissus, les cellules ne se contractent que lorsqu'elles sont stimulées par un nerf et, dans ce cas, toutes les cellules du feuillet se contractent simultanément.

Chez les vertébrés, les muscles de ce type font partie de la paroi de nombreux vaisseaux sanguins et entrent dans la constitution de l'iris oculaire, qui se contracte lorsque la lumière est intense. Dans d'autres tissus musculaires lisses, comme ceux de la paroi intestinale, les cellules musculaires peuvent elles-mêmes générer spontanément des impulsions électriques entraînant des contractions lentes et régulières. Ici, les nerfs régulent, plutôt qu'ils ne déclenchent, l'activité.

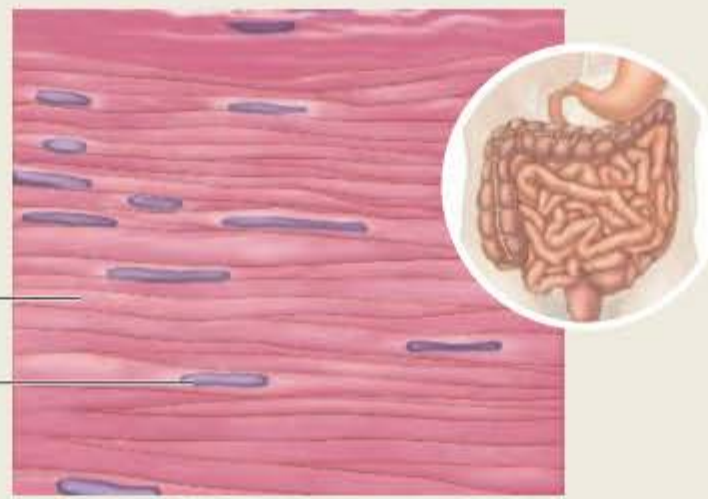
Les muscles squelettiques assurent les mouvements corporels

Les **muscles squelettiques** sont habituellement attachés aux os par des tendons de telle façon que la contraction musculaire puisse mouvoir les



Cellule musculaire lisse
Noyau

40 µm



Muscle lisse

Localisation typique

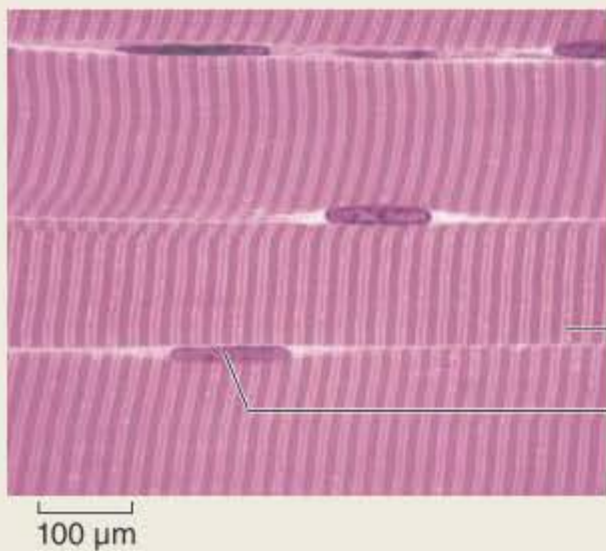
Paroi des vaisseaux sanguins, de l'estomac et des intestins

Fonction

Assure les contractions involontaires et rythmiques commandées par le système nerveux central

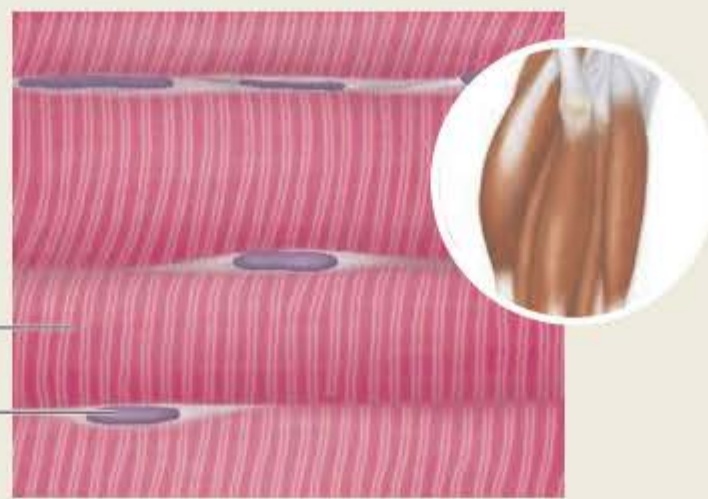
Types cellulaires caractéristiques

Cellules musculaires lisses



Cellule musculaire squelettique
Noyau

100 µm



Muscle squelettique

Localisation typique

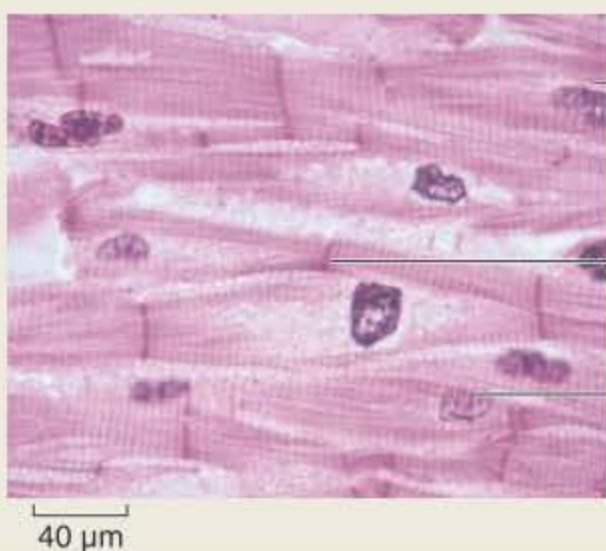
Muscles volontaires

Fonction

Permet de marcher, de soulever, de parler et tous les autres mouvements volontaires

Types cellulaires caractéristiques

Cellules musculaires squelettiques



Cellule musculaire cardiaque
Disque intercalaire
Noyau

40 µm



Muscle cardiaque

Localisation typique

Paroi cardiaque

Fonction

Cellules fortement interconnectées; favorise la diffusion rapide du signal déclenchant la contraction

Types cellulaires caractéristiques

Cellules musculaires cardiaques

os à hauteur de leurs articulations. Un muscle squelettique est composé de cellules nombreuses et très longues, appelées **fibres musculaires**, qui s'étendent en parallèle tout au long du muscle et s'insèrent dans les tendons aux extrémités du muscle. Chaque fibre musculaire squelettique est stimulée par un neurone moteur.

Le système nerveux contrôle la puissance de la contraction des muscles squelettiques en contrôlant le nombre de neurones moteurs stimulants et, ainsi, le nombre de fibres musculaires. Chaque fibre musculaire se contracte au moyen de structures appelées **myofibrilles** contenant des faisceaux très ordonnés de myofilaments d'actine et de myosine qui donnent à la fibre musculaire son apparence striée.

Les fibres musculaires squelettiques sont produites durant le développement par la fusion, bout à bout, de plusieurs cellules. Ce développement embryonnaire explique pourquoi une fibre musculaire mature contient de nombreux noyaux. Des explications détaillées sur la structure et la fonction d'un muscle squelettique sont fournies au chapitre 46.

Le cœur est composé de muscle cardiaque

Le cœur des vertébrés est composé de cellules musculaires striées dont la disposition diffère fortement de celle des fibres du muscle squelettique. Au lieu d'avoir de très longues cellules plurinucléées étendues au long du muscle, le **muscle cardiaque** est composé de cellules plus petites et interconnectées, chacune ne contenant qu'un seul noyau. Les interconnexions entre cellules adjacentes apparaissent au microscope comme des lignes sombres appelées **disques intercalaires**. En réalité, ces lignes sont des régions où des cellules adjacentes sont liées par des jonctions communicantes. Comme nous l'avons noté au chapitre 4, les jonctions communicantes comportent des ouvertures qui permettent le passage de petites substances et d'ions d'une cellule à l'autre. Ces interconnexions permettent aux cellules musculaires cardiaques de former une seule unité fonctionnelle.

Certaines cellules cardiaques spécialisées peuvent générer rythmiquement des impulsions électriques, dont le rythme est en plus régulé par le système nerveux (figure 42.5). Ces impulsions se distribuent à tra-

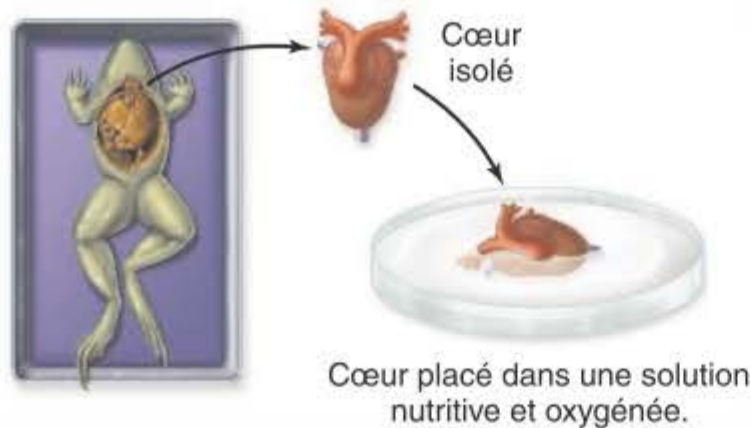
RÉFLEXION SCIENTIFIQUE

Question : *les contractions cardiaques dépendent-elles du système nerveux ou proviennent-elles du cœur lui-même ?*

Hypothèse : *les cellules dans le cœur sont capables de générer un potentiel d'action sans stimulation par le système nerveux.*

Prédiction : *si le rythme cardiaque est induit par des cellules cardiaques, alors un cœur isolé devrait continuer à battre.*

Test : *Enlever le cœur d'une grenouille et le conserver dans un bain de solution nutritive et d'oxygène.*



Résultat : *le cœur continue de se contracter sans aucun lien avec le système nerveux.*

Conclusion : *l'origine des battements cardiaques est intrinsèque.*

Expériences supplémentaires : *Comment pourriez-vous intégrer les conclusions de cette expérience à celle décrite dans la figure 44.12 ?*

Figure 42.5 L'origine des battements du cœur.

vers les jonctions communicantes de cellule à cellule, déclenchant la contraction de toutes les cellules dans le myocarde. Le chapitre 49 décrit ce processus plus complètement.

Synthèse 42.4

Les muscles sont les moteurs du corps ; ils sont capables de se contracter et de changer ainsi leur longueur. Le tissu musculaire est de trois types : lisse, squelettique et cardiaque. Les muscles lisses assurent diverses fonctions viscérales. Les muscles squelettiques permettent au corps des vertébrés de se mouvoir. Le muscle cardiaque forme une pompe musculaire, le cœur.

- Pourquoi est-il important que les cellules des muscles cardiaques aient des jonctions communicantes ?

42.5 Tissu nerveux

Objectifs

1. Décrire la structure de base des neurones.
2. Distinguer les neurones de leurs cellules de soutien.
3. Identifier les deux divisions du système nerveux.

La quatrième classe majeure de tissus chez les vertébrés est le tissu nerveux (tableau 42.4). Ses cellules comprennent les neurones et leurs cellules de soutien, appelées névroglie ou glie. Les neurones sont spécialisés dans la production et la transmission de stimulus électrochimiques, les impulsions.

Des neurones s'étendent parfois très loin

La plupart des neurones comportent trois parties : un corps cellulaire, des dendrites et un axone. Le *corps cellulaire* d'un neurone contient le noyau. Les *dendrites* sont des extensions minces, très ramifiées qui reçoivent les impulsions venant de l'amont et transmettent le stimulus électrique au corps cellulaire. L'*axone* est une extension unique du cytoplasme qui conduit les impulsions en aval du corps cellulaire. Certains axones et dendrites peuvent être très longs. Par exemple, les corps cellulaires des neurones qui contrôlent les muscles du pied sont situés dans la moelle épinière, et leur axone se prolonge jusqu'au pied, sa longueur pouvant dépasser un mètre.

La névroglie fournit un soutien aux neurones

La névroglie ne conduit pas les impulsions, mais soutient et isole les neurones et élimine les substances étrangères dans et autour des neurones. Dans de nombreux neurones, les cellules gliales s'associent aux axones et forment une couche isolante, la *gaine de myéline*, produite par l'enroulement successif de la membrane autour de l'axone. Les cellules gliales adjacentes sont séparées par des lacunes appelées *nœuds de Ranvier*, qui servent de sites d'accélération de l'impulsion (voir chapitre 43).

Deux divisions du système nerveux coordonnent l'activité

Le système nerveux est divisé en **système nerveux central** (SNC), qui comprend le cerveau et la moelle épinière, ainsi que le **système nerveux périphérique** (SNP), qui comprend les nerfs et les ganglions nerveux. Les *nerfs* dans le SNP consistent en axones qui sont assemblés en faisceaux à la manière des fibres qui forment un câble. Les *ganglions nerveux* sont des assemblages de corps cellulaires neuronaux. Le SNC doit en général intégrer et interpréter les stimulations entrantes, comme celles provenant des organes sensoriels ; le SNP transfère des signaux vers le SNC ou à partir de lui vers le reste du corps, comme les cellules musculaires ou les glandes endocrines.

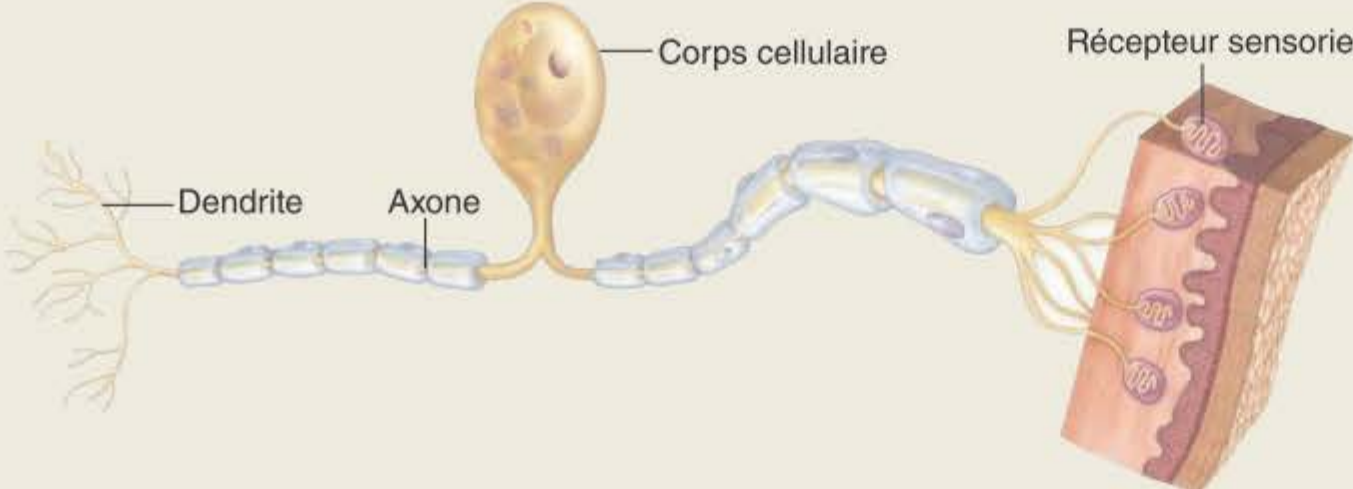
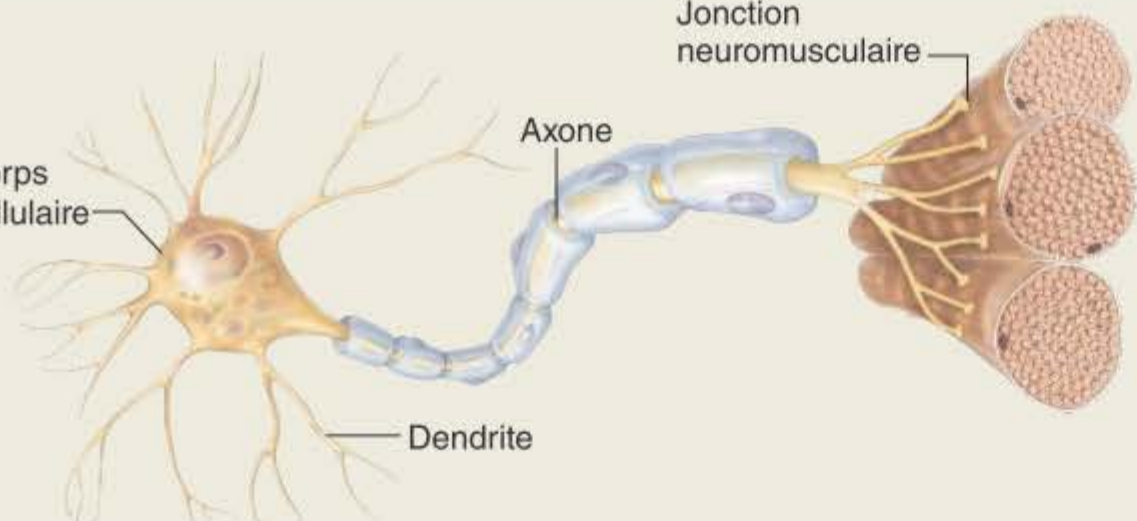
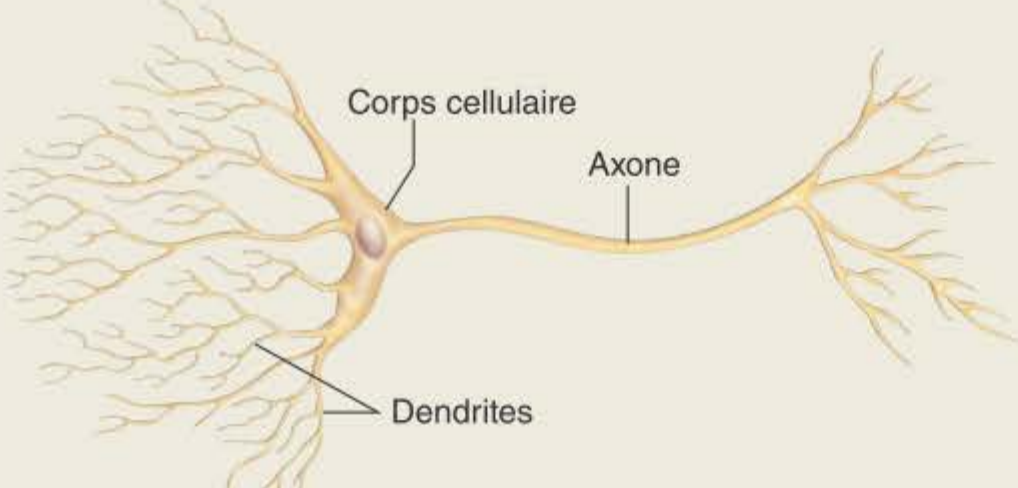
Synthèse 42.5

Le tissu nerveux est composé de neurones et de névroglie. Les neurones sont spécialisés dans la réception et la transmission de signaux électriques ; ils ont en général un corps cellulaire avec un noyau, des dendrites qui reçoivent les signaux entrants, et des axones qui conduisent des impulsions loin du corps cellulaire. La névroglie exerce des fonctions de soutien, notamment l'isolation des axones. Le système nerveux central (SNC) et le système nerveux périphérique (SNP) contiennent tous deux des neurones et de la névroglie.

- Dans le chapitre 4, vous avez lu que le rapport entre la surface et le volume limite la taille cellulaire. Malgré cela, comment les neurones peuvent-ils atteindre une longueur d'un mètre ?

TABLEAU 42.4

Tissu nerveux

	<p>Neurones sensoriels <i>Localisation typique</i> Yeux; oreilles; surface de la peau <i>Fonction</i> Reçoivent les informations concernant l'état du corps et de l'environnement extérieur; envoient des impulsions à partir des organes sensoriels vers le système nerveux central. <i>Types cellulaires caractéristiques</i> Bâtonnets et cônes; récepteurs musculaires d'étirement</p>
	<p>Neurones moteurs <i>Localisation typique</i> Cerveau et moelle épinière <i>Fonction</i> Stimule les muscles et les glandes : conduit les impulsions en dehors du système nerveux central vers les muscles et les glandes <i>Types cellulaires caractéristiques</i> Neurones moteurs</p>
	<p>Interneurones <i>Localisation typique</i> Cerveau et moelle épinière <i>Fonction</i> Intègre les informations ; conduit les impulsions entre les neurones à l'intérieur du système nerveux central <i>Types cellulaires caractéristiques</i> Interneurones</p>

42.6 Vue d'ensemble des systèmes d'organes des vertébrés

Objectifs

1. Identifier les différents systèmes d'organes chez les vertébrés.
2. Expliquer l'organisation fonctionnelle de ces systèmes.

Dans les chapitres qui suivent, nous examinons de près les systèmes d'organes principaux des vertébrés (figure 42.6). Dans chaque chapitre, vous serez en mesure de voir la relation intime de la structure et la fonction. Nous abordons les systèmes d'organes en les plaçant dans les groupes fonctionnels suivants :

- Communication et intégration
- Support et mouvement

- Régulation et entretien
- Défense
- Reproduction et développement

La communication et l'intégration sont sensibles à l'environnement et réagissent en conséquence

Deux systèmes d'organes détectent les stimulus externes et internes et coordonnent les réponses de l'organisme. Le **système nerveux**, qui comprend le cerveau, la moelle épinière, les nerfs et les organes sensoriels, détecte des stimulus sensoriels internes rétroactifs ainsi que les externes comme la lumière, le son et le toucher. Cette information est recueillie et intégrée, ce qui suscite ensuite la réponse appropriée.

Les **systèmes sensoriels** sont un sous-ensemble du système nerveux que nous considérons dans un chapitre distinct. Il s'agit notamment des organes et des tissus qui perçoivent les stimulus externes, notamment ceux de la vision, de l'ouïe, de l'odorat, etc.

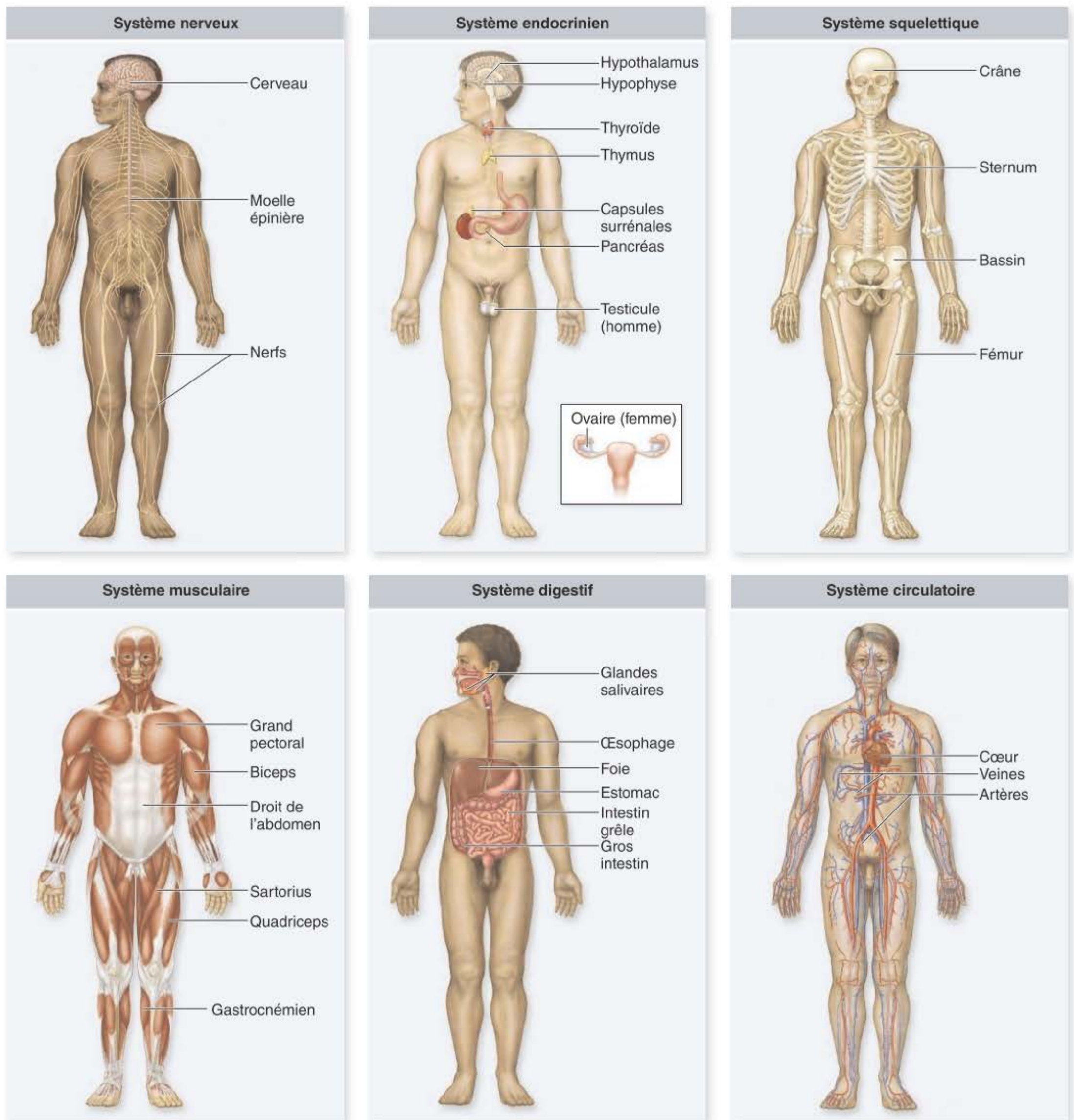


Figure 42.6 Systèmes d'organes chez un vertébré. Les 11 systèmes d'organes principaux du corps humain sont représentés, y compris les systèmes reproducteurs de l'homme et de la femme.

Travaillant en parallèle avec le système nerveux, le **système endocrinien** (voir chapitre 45) émet des signaux chimiques qui régulent la myriade de processus chimiques se déroulant dans tous les autres systèmes d'organes.

Le soutien et le mouvement du squelette sont essentiels pour tous les animaux

Le **système musculo-squelettique** se compose de deux systèmes d'organes interconnectés. Les muscles sont bien évidemment responsables du mouvement, mais un muscle est inutile s'il ne peut prendre appui.

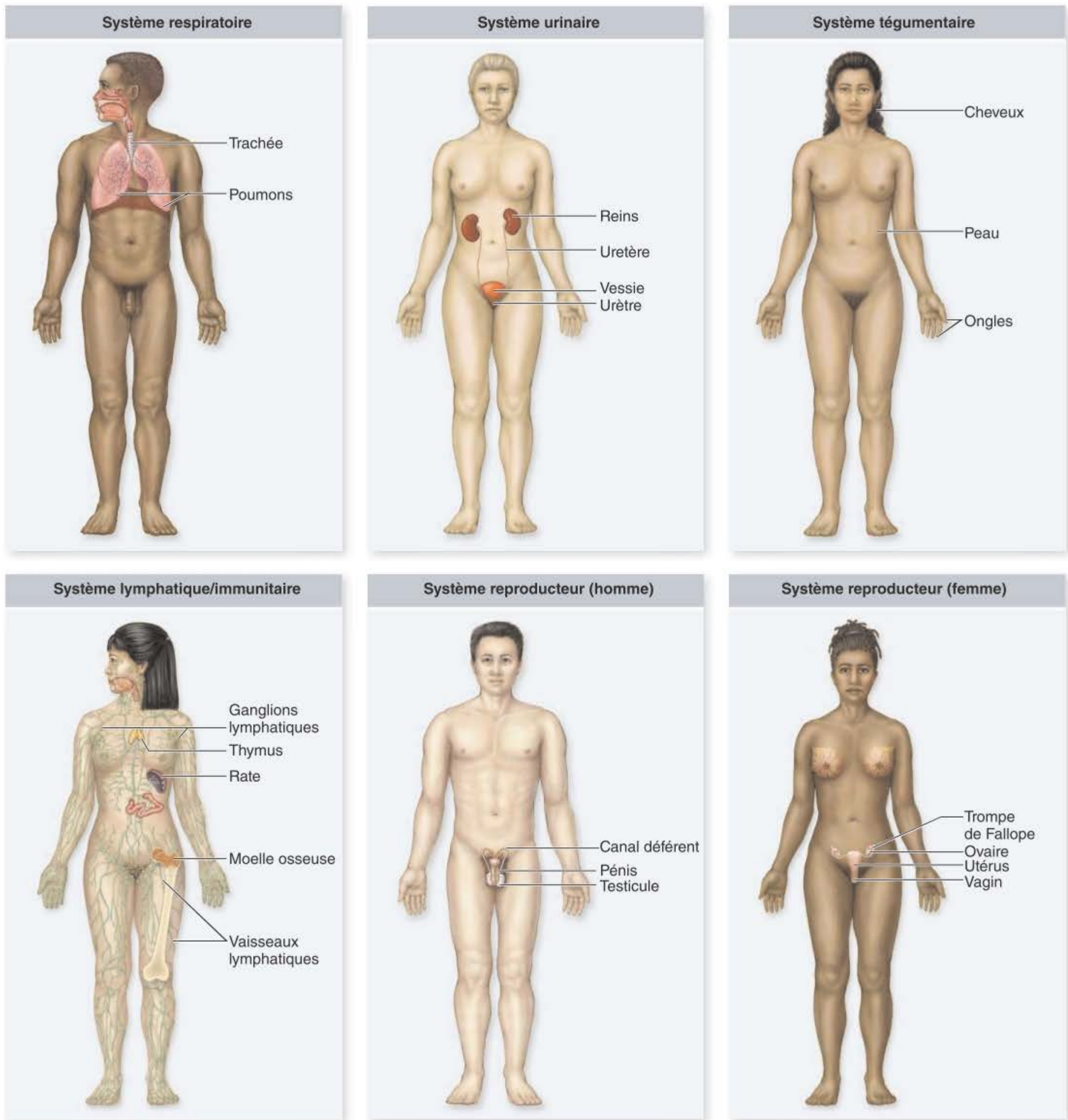


Figure 42.6 Systèmes d'organes chez un vertébré, suite

Le système squelettique est le cadre rigide sur lequel la plupart des muscles prennent appui. Les vertébrés ont un squelette interne, mais de nombreux autres animaux ont un squelette externe (comme les insectes) ou un squelette hydrostatique (vers de terre). Ensemble, ces deux systèmes d'organes donnent aux animaux la possibilité d'un large éventail de mouvements finement contrôlés.

La régulation et la stabilité biochimiques de l'organisme assurent sa survie

Les systèmes d'organes, soumis à régulation et maintenance, se répartissent selon qu'ils participent à l'acquisition des éléments nutritifs, l'élimination des déchets, la distribution de diverses substances et l'entretien de l'environnement interne. Le chapitre 47 sur le **système digestif** décrit comment nous mangeons, absorbons les éléments nutritifs et éliminons les déchets solides. Le cœur et les vaisseaux du **système circulatoire**

pompent et distribuent le sang, qui transporte des nutriments et d'autres substances dans tout l'organisme. Le corps acquiert l'oxygène et expulse le dioxyde de carbone par l'intermédiaire du **système respiratoire**.

Enfin, les vertébrés régulent strictement la concentration de leurs fluides corporels. Nous étudions ces processus dans le chapitre consacré à l'osmorégulation, qui est en grande partie sous le contrôle du **système urinaire**.

Le corps peut se défendre contre des agresseurs et des envahisseurs

Chaque animal doit faire face au risque infectieux par des bactéries, virus, champignons, protistes, et même d'autres animaux. La première ligne de défense est le **système tégumentaire**, c'est-à-dire une peau intacte. Les agents pathogènes qui surmontent la première ligne de défense se heurtent à beaucoup d'autres réactions protectrices assurées par le **système immunitaire**, notamment la production d'anticorps et de cellules spécialisées qui attaquent les organismes envahisseurs.

La reproduction et le développement assurent la continuité des espèces

La continuité biologique des vertébrés est assurée par le **système reproducteur**. Les systèmes reproducteurs mâle et femelle se composent des organes où les gamètes mâles et femelles se développent, ainsi que des glandes et conduits qui alimentent les gamètes et permettent aux gamètes des sexes complémentaires d'entrer en contact les uns avec les autres. Le système reproducteur féminin chez de nombreux vertébrés comporte également des structures assurant la nutrition de l'embryon et du fœtus en développement.

Après la fusion des gamètes pour former un *zygote*, un processus complexe de division cellulaire et de développement se déroule afin de transformer cette cellule diploïde originelle en un adulte multicellulaire. Ce processus est décrit dans le chapitre sur le développement des animaux.

Synthèse 42.6

L'organisme des vertébrés comprend divers systèmes : nerveux, endocrinien, squelettique, musculaire, digestif, circulatoire, respiratoire, urinaire, tégumentaire, lymphatique/immunitaire et reproducteur. Ceux-ci peuvent être répartis fonctionnellement selon leur rôle dans la communication et l'intégration, le soutien et le mouvement, la régulation et la maintenance, la défense, la reproduction et le développement.

- Existe-t-il des chevauchements entre les systèmes d'organes ?

42.7 Homéostasie

Objectifs

1. Expliquer l'homéostasie.
2. Illustrer comment une rétroaction négative peut limiter une réaction.
3. Illustrer comment des effecteurs antagonistes peuvent maintenir un système à un point déterminé.

Avec l'évolution du corps animal, la spécialisation des structures s'est accrue. Chaque cellule est une machine sophistiquée, ajustée finement pour exécuter un rôle précis dans l'organisme. Une telle spécialisation de la fonction cellulaire n'est possible que lorsque les conditions extracellulaires sont maintenues dans des limites étroites. La température, le pH, les concentrations de glucose et d'oxygène et de nombreux autres facteurs doivent être maintenus assez stables pour que les cellules puissent fonctionner efficacement et interagissent entre elles de manière adéquate. La stabilité dynamique du milieu intérieur est appelée *homéostasie*. L'adjectif *dynamique* est justifié puisque les conditions ne sont jamais absolument constantes, mais fluctuent continuellement dans des limites étroites. L'homéostasie est essentielle à la vie et, chez les vertébrés, la plupart des mécanismes régulateurs sont impliqués dans le maintien de l'homéostasie.

Des mécanismes de rétrocontrôle négatif gardent les valeurs dans certaines limites

Pour maintenir la stabilité interne, l'organisme des vertébrés recourt au système appelé **rétrocontrôle négatif**. Des cellules ou des récepteurs membranaires agissent comme des senseurs spécialisés qui perçoivent dans quel état se trouvent les milieux intérieur et extérieur. Si les conditions s'écartent trop d'un point de référence, elles sont ramenées à cette valeur par des réactions biochimiques induites par les écarts perçus.

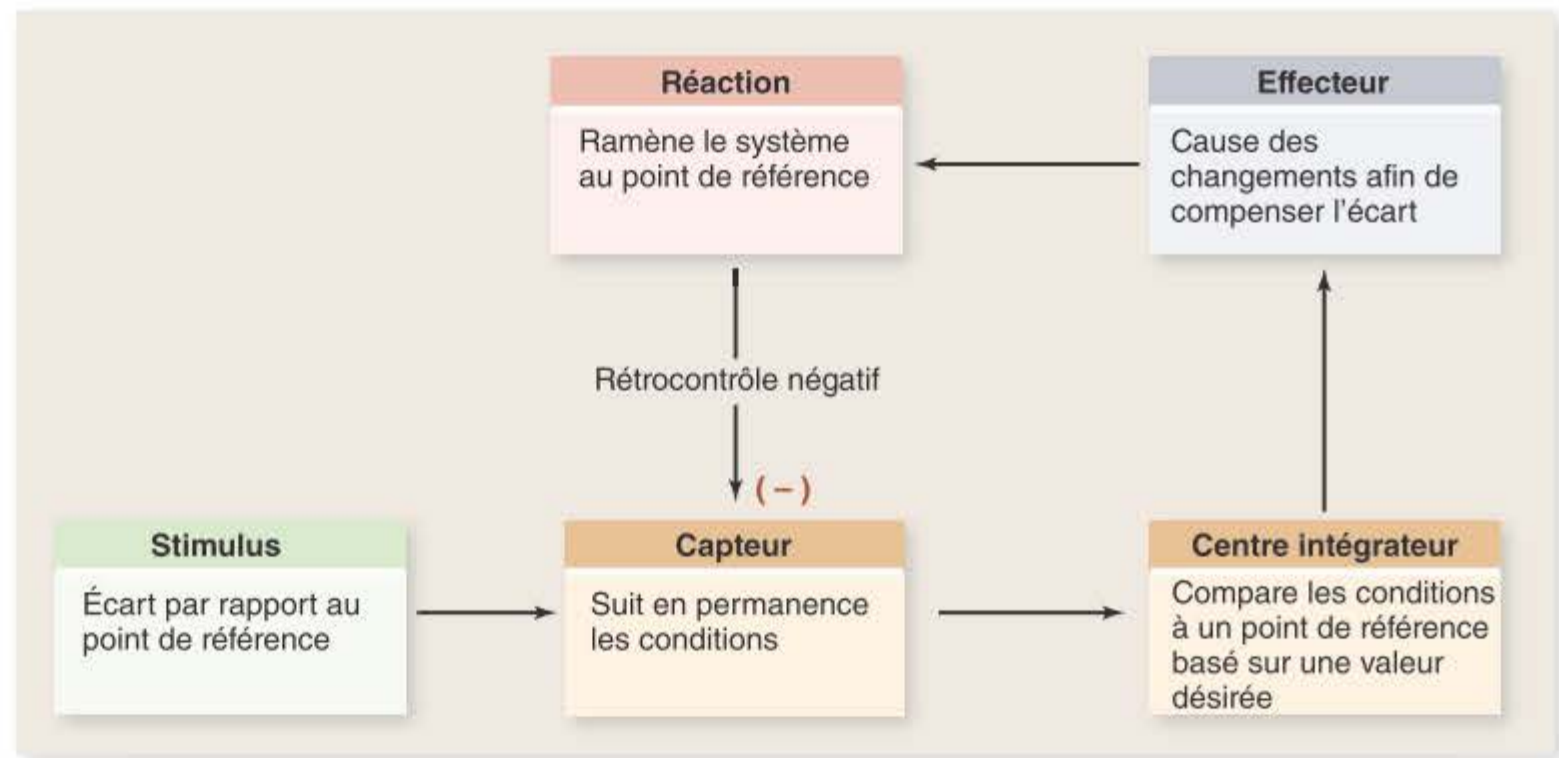
La *valeur de référence* peut être comparée à la température choisie sur un thermostat. Lorsque la température ambiante chute, le changement est détecté par un thermomètre à l'intérieur du système de contrôle ; c'est le capteur ou senseur. Le thermostat auquel vous avez indiqué la température désirée contient un comparateur ; lorsque le senseur indique une chute thermique sous le point de référence, le comparateur ferme un circuit électrique. Le flux d'électricité dans le système de chauffage produit alors plus de chaleur. Inversement, lorsque la température ambiante augmente, le changement déclenche l'ouverture du circuit, et la chaleur n'est plus produite. La figure 42.7 décrit une boucle de rétroaction négative.

De la même manière, il existe des valeurs de référence pour la température du corps, la concentration du glucose dans le sang, la tension exercée sur un tendon, etc. Le centre intégrateur est souvent situé dans une région particulière du cerveau ou de la moelle épinière, mais dans certains cas, il peut consister en cellules de glandes endocrines. Lorsqu'un changement survient dans le milieu, un message est envoyé afin d'augmenter ou de diminuer l'activité d'organes cibles particuliers, appelés *effecteurs*. Il s'agit en général de muscles ou de glandes, qui sont susceptibles de corriger l'écart par rapport à la valeur de référence.

Les mammifères et les oiseaux sont *endothermes*, ils peuvent maintenir des températures corporelles relativement constantes indépendamment de la température de l'environnement. Chez l'homme, lorsque la température du sang dépasse 37°, des neurones dans une partie du cerveau appelée **hypothalamus** détectent le changement de température. Par l'intermédiaire des neurones moteurs, l'hypothalamus réagit en favorisant la dissipation de la chaleur par la transpiration, la dilatation des vaisseaux sanguins cutanés et d'autres mécanismes. Ces réponses ont tendance à contrecarrer la hausse de la température corporelle.

Figure 42.7 Schéma général d'une boucle de rétrocontrôle négatif.

Des boucles de rétrocontrôle négatif maintiennent un état d'homéostasie, ou une stabilité dynamique du milieu interne. L'évolution des conditions est détectée par des capteurs, qui transmettent les informations à un centre intégrateur qui compare les conditions à un point de référence. Un écart éventuel déclenche alors une réaction capable de ramener la situation interne au point de référence. Une rétroaction négative exercée sur le capteur met fin à la réaction.

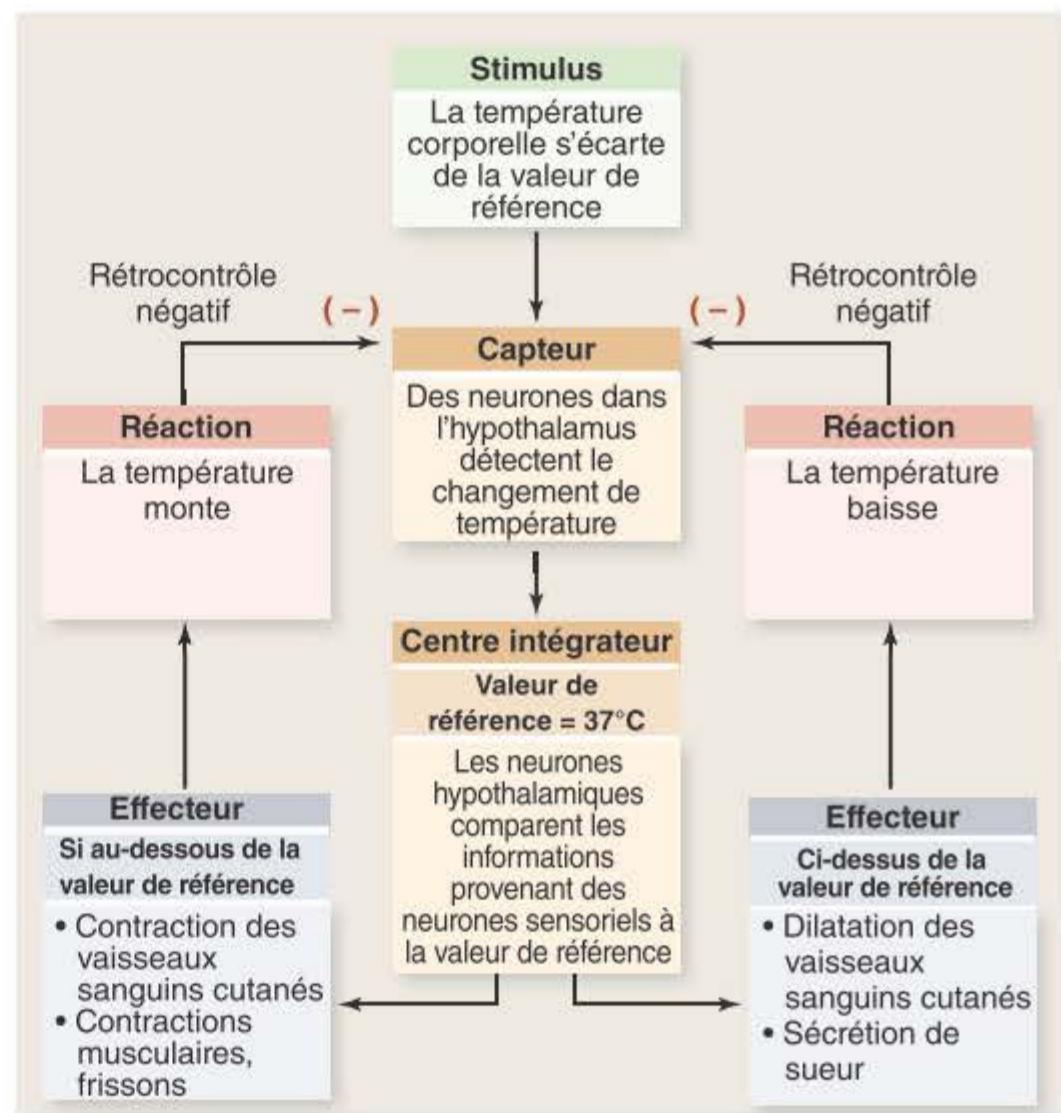
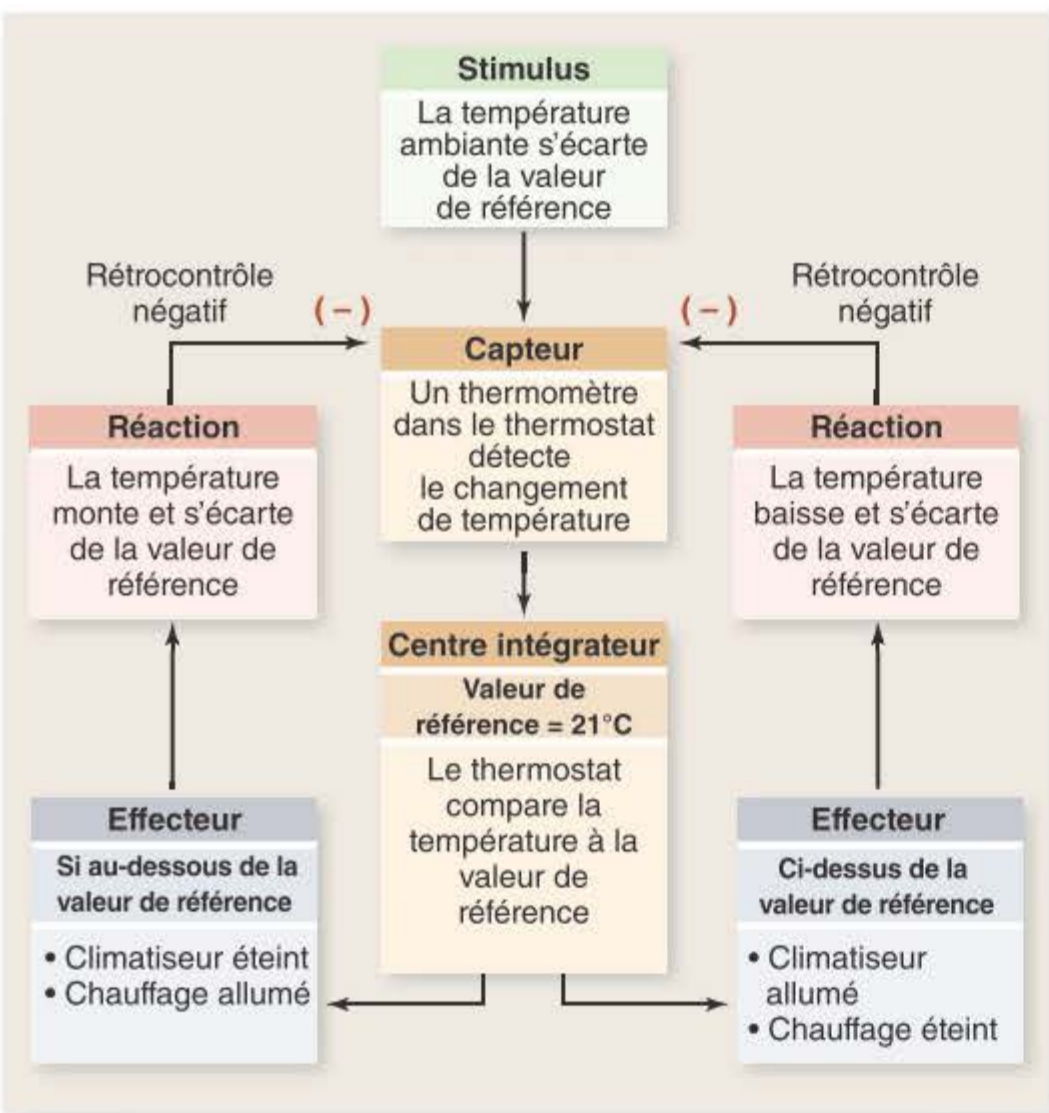


Des effecteurs antagonistes agissent dans des directions opposées

Les mécanismes de rétroaction négative qui maintiennent l'homéostasie souvent s'opposent les uns aux autres pour assurer un contrôle plus précis. La plupart des facteurs de l'environnement interne sont contrôlés par plusieurs effecteurs, qui, souvent, exercent des actions antagonistes (opposées). Un contrôle effectué par des effecteurs antagonistes est parfois appelé système « push-pull » (pousser-tirer) ; dans ce cas, l'activité crois-

sante d'un effecteur s'accompagne d'une diminution d'activité d'un effecteur antagoniste, ce qui assure un contrôle plus fin que celui qui pourrait être atteint par un simple allumage ou mise à l'arrêt de l'effecteur.

Reprenant l'exemple précédent, nous pouvons maintenir la température ambiante simplement en allumant ou en éteignant soit le chauffage soit le climatiseur. Toutefois, nous obtiendrons une température beaucoup plus stable si un thermostat contrôle à la fois le conditionnement d'air et le chauffage. Dans ce cas, le chauffage se met en route lorsque le climatiseur s'éteint, et vice versa (figure 42.8a).



a.

b.

Figure 42.8 La température d'une chambre ou du corps est stabilisée par un rétrocontrôle négatif et des effecteurs antagonistes.

a. Si un thermostat détecte une température basse (par rapport à une valeur de référence), le chauffage s'allume et le climatiseur s'éteint. Si la température est trop élevée, le climatiseur se met en marche et le chauffage s'éteint. b. L'hypothalamus du cerveau détecte une augmentation ou une diminution de la température corporelle. Le comparateur (également dans l'hypothalamus) traite ensuite l'information et active des effecteurs, comme les vaisseaux sanguins de surface, les glandes sudoripares et les muscles squelettiques. La rétroaction négative entraîne une réduction de la différence de la température corporelle par rapport à la valeur de référence. En conséquence, la stimulation des effecteurs par le comparateur diminue.

Des effecteurs antagonistes sont également impliqués dans le contrôle de la température corporelle. Lorsque la température du corps s'abaisse, l'hypothalamus coordonne un ensemble différent de réactions, telles que la constriction des vaisseaux sanguins cutanés ainsi que le déclenchement des frissons et des contractions musculaires qui aident à produire de la chaleur. Ces réactions élèvent la température du corps et corrigent d'emblée les écarts de l'équilibre homéostatique (figure 42.8b).

Des mécanismes de rétrocontrôle positif amplifient un changement

Dans quelques cas, l'organisme utilise des mécanismes de *rétrocontrôle positif*, qui poussent ou accentuent un nouveau changement dans le même sens. Dans une boucle de rétroaction positive, l'effecteur entraîne la valeur de la variable contrôlée encore plus loin du point de référence. En conséquence, les systèmes dans lesquels il existe une rétroaction positive sont très instables, et ressemblent à l'effet d'une étincelle qui déclenche une explosion. Ils ne contribuent pas à maintenir l'homéostasie.

Néanmoins, ces systèmes sont des éléments importants de certains mécanismes physiologiques. Par exemple, une rétroaction positive se produit lors de la coagulation du sang ; un facteur de coagulation en active un autre déclenchant une cascade qui conduit rapidement à la formation du caillot. Un rétrocontrôle positif intervient également dans les contractions utérines pendant l'accouchement (figure 42.9). Dans ce cas, l'étirement de l'utérus par le fœtus stimule la contraction, et la contraction amplifie l'étirement, le cycle se poursuivant jusqu'à expulsion du fœtus.

Dans le corps, la plupart des systèmes de rétroaction positive entrent en jeu dans le cadre de certains grands mécanismes qui maintiennent l'homéostasie. Dans les exemples que nous avons décrits, la formation d'un caillot de sang arrête le saignement et contribue dès lors à maintenir le volume sanguin constant. Quant à l'expulsion du fœtus, elle réduit les contractions utérines et, dès lors, arrête le cycle.

Synthèse 42.7

L'homéostasie peut être considérée comme le maintien dynamique de l'environnement interne d'un organisme. Les mécanismes de rétrocontrôle négatif corrigent les écarts à partir d'un point de référence pour différentes variables internes, comme la température, le pH et beaucoup d'autres, contribuant ainsi à maintenir les états physiques dans une fourchette normale. Les effecteurs qui agissent de manière antagoniste l'un par rapport à l'autre sont plus efficaces que les effecteurs qui agissent seuls. Les mécanismes de rétroaction positive qui accentuent les changements sont moins fréquents et ont des fonctions spécialisées comme le déclenchement de la coagulation sanguine et l'accouchement.

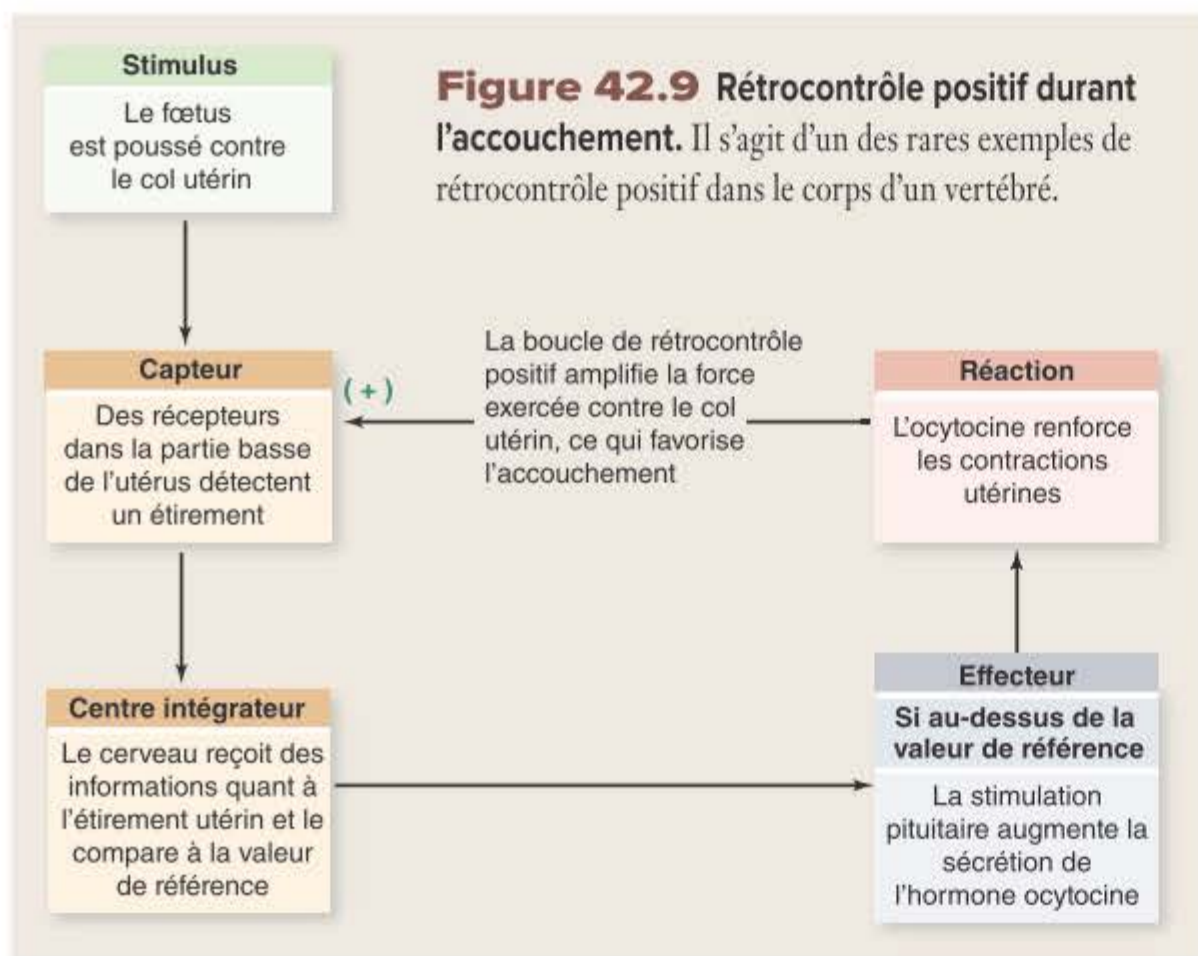
- Des effecteurs antagonistes et un rétrocontrôle négatif peuvent-ils fonctionner ensemble ?

42.8 Régulation de la température corporelle

Objectifs

1. Expliquer ce qu'est Q_{10} et sa signification.
2. Définir comme des organismes peuvent être classés selon leur mode de régulation thermique.
3. Décrire les mécanismes d'homéostasie thermique.

La température est l'un des facteurs les plus importants de l'environnement avec lequel tous les organismes doivent composer. Elle illustre bien les principes de régulation homéostatique qui viennent d'être exposés. Comme nous le verrons, certains organismes ont une température corporelle imposée par l'environnement, alors que d'autres sont à même de réguler leur température. Tout d'abord, nous allons examiner pourquoi la température est si importante.



Le Q_{10} est une mesure de sensibilité à la température

La température affecte les réactions chimiques ; en augmentant, elle les accélère et, en diminuant, elle les ralentit. Les effets cinétiques sont les mêmes sur les réactions catalysées par une enzyme, mais cette dernière est elle-même sensible à la température.

Nous pouvons quantifier cette dépendance de la température par l'examen de la vitesse d'une réaction à deux températures différentes. Le rapport entre les vitesses de réaction à deux températures différentes de 10 °C est appelé le Q_{10} de l'enzyme :

$$Q_{10} = V_{T+10} / V_T$$

Pour la plupart des enzymes, la valeur de Q_{10} est d'environ 2, ce qui signifie que, pour chaque augmentation de 10 °C, la vitesse de la réaction double. Évidemment, cela ne peut pas continuer sans fin, puisqu'à température élevée, l'enzyme est inactivée par altération de sa structure.

Le concept Q_{10} peut également être appliqué au métabolisme global. L'équation reste la même, mais au lieu de la vitesse d'une réaction unique, le métabolisme global est utilisé. La mesure de celui-ci a montré que la plupart des organismes avaient un Q_{10} métabolique d'environ 2 à 3. Cette observation implique que la température affecte principalement les enzymes qui interviennent dans le métabolisme.

Dans de rares cas, par exemple, chez certains invertébrés intertidaux, le Q_{10} est proche de 1, ce qui signifie que le métabolisme ne change pas avec la température. Ces invertébrés intertidaux sont exposés à des variations de température importantes puisqu'ils sont submergés par une eau relativement froide, puis exposés à la lumière directe du soleil et à une température aérienne beaucoup plus élevée. Ces organismes se sont adaptés pour faire face à ces fluctuations de température, probablement grâce à l'acquisition d'enzymes différentes qui sont impliquées dans une seule voie métabolique et qui ont de grandes différences de température optimale. Cela permet à une enzyme de compenser une baisse d'activité des autres à une température donnée.

La température est déterminée par des facteurs internes et externes

La température du corps semble simple, mais de nombreux facteurs, internes ou externes, l'influencent, ainsi d'ailleurs que le comportement. Au chapitre 6, nous avons vu que la deuxième loi de la thermodynamique indique qu'aucune transaction énergétique n'est efficace à 100 %. Ainsi, en raison de cette inefficacité relative, les réactions qui constituent le

métabolisme produisent constamment de la chaleur. Celle-ci doit être soit dissipée ou peut être utilisée pour élever la température corporelle.

Dans l'ensemble, le métabolisme et la température du corps sont intimement liés. Une température corporelle basse ne permet pas un métabolisme élevé, puisque, comme nous venons de le voir, l'activité enzymatique dépend de la température. Inversement, un métabolisme élevé peut provoquer un échauffement insupportable pour l'organisme, nécessitant un refroidissement.

Les organismes doivent donc composer avec des facteurs externes et internes qui relient la chaleur corporelle au métabolisme et à l'environnement. Le modèle le plus simple pour la température, plus précisément la chaleur du corps, est la suivante :

chaleur corporelle = chaleur produite + (chaleur acquise – chaleur perdue),
nous pouvons encore simplifier en :

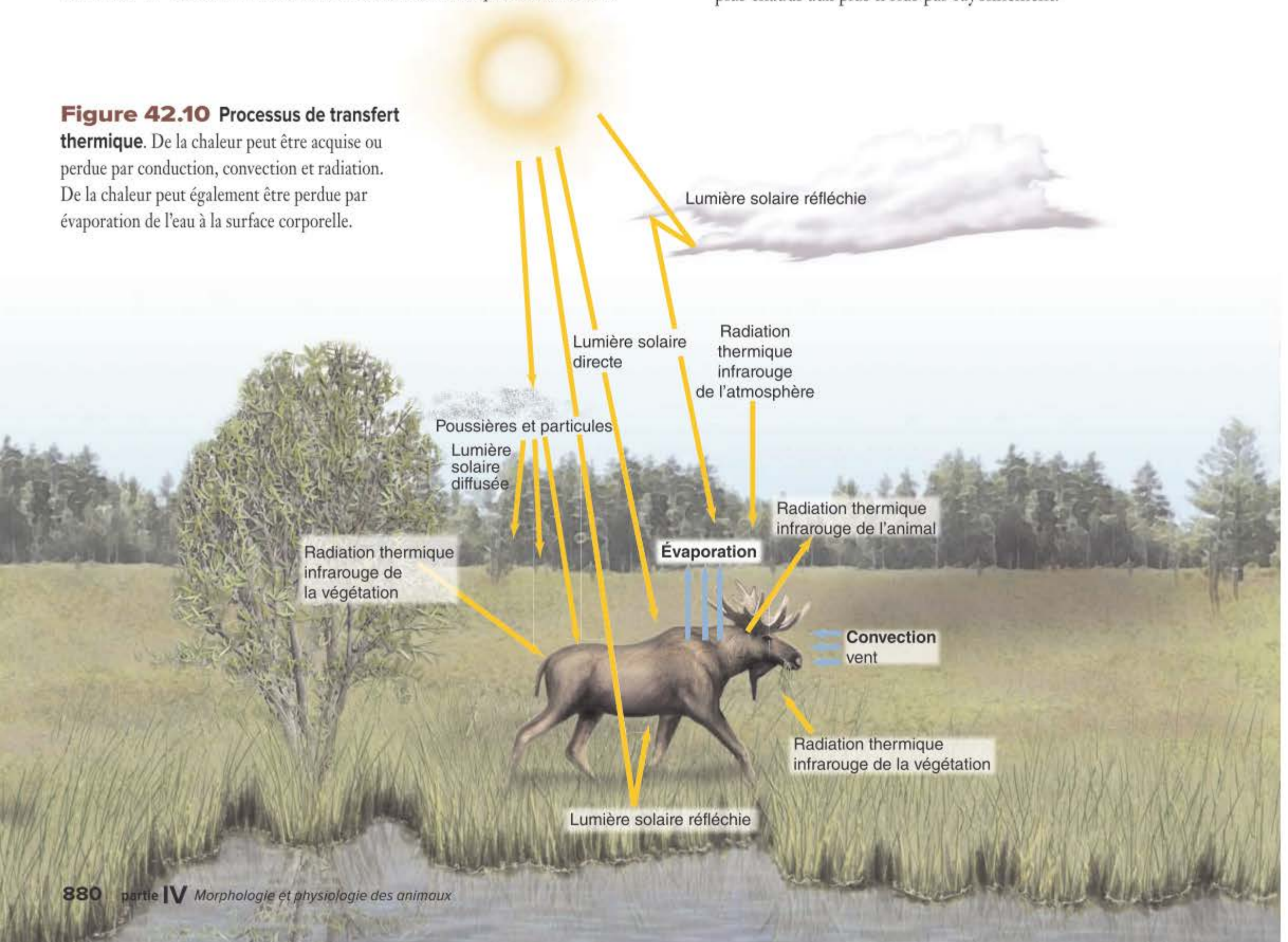
chaleur corporelle = chaleur produite + chaleur transférée

Notez que le transfert de chaleur peut être soit positif ou négatif, c'est-à-dire qu'il peut servir à chauffer ou à refroidir.

Quatre mécanismes de transfert calorique interviennent dans les systèmes biologiques : le rayonnement, la conduction, la convection et l'évaporation (figure 42.10).

- **Rayonnement.** Le transfert de chaleur par radiation électromagnétique, telle que celle provenant du soleil, ne nécessite pas de contact direct. La chaleur est transférée des corps plus chauds aux plus froids par rayonnement.

Figure 42.10 Processus de transfert thermique. De la chaleur peut être acquise ou perdue par conduction, convection et radiation. De la chaleur peut également être perdue par évaporation de l'eau à la surface corporelle.



- **Conduction.** Le transfert direct de chaleur entre deux objets est appelé conduction. Il s'agit littéralement d'un transfert direct de l'énergie cinétique entre les molécules de deux objets en contact. L'énergie est transférée à partir d'objets plus chauds vers de plus froids.
- **Convection.** La convection est le transfert de chaleur induit par le mouvement d'un gaz ou d'un liquide. Ce mouvement peut être une cause externe (le vent) ou peut être due à des différences de densité liées au chauffage et au refroidissement ; par exemple, l'air chaud est moins dense et s'élève ; il en est de même pour l'eau.
- **Évaporation.** Toutes les substances ont une chaleur de vaporisation, qui correspond à la quantité d'énergie nécessaire pour les changer de l'état liquide à l'état gazeux. L'eau, comme vous l'avez vu au chapitre 2, a une forte chaleur de vaporisation, et de nombreux animaux utilisent cette propriété comme moyen de refroidissement.

Autres facteurs

Le taux global de transfert de chaleur par les moyens énumérés ci-dessus dépend d'un certain nombre de facteurs qui influencent ces processus physiques. Ces facteurs comprennent la surface, la différence de température et la conduction spécifique de la chaleur. Plus grande est la surface par rapport à la masse totale, plus grande sera la conduction thermique. Ainsi, les petits organismes ont une surface relativement plus grande pour leur masse ; dès lors, ils échangent plus facilement la chaleur avec l'environnement. Dans une certaine mesure, les animaux peuvent adapter ces échanges en changeant de posture et en étendant ou en repliant les membres.

La différence de température est également importante ; le transfert de chaleur sera d'autant plus grand que la différence entre les températures ambiante et corporelle est importante. Plus proches sont ces températures, moindre sera le gain ou la perte de chaleur.

Un animal avec une conductance thermique élevée tend à avoir une température corporelle proche de la température ambiante. Pour les animaux qui régulent leur température, une enveloppe corporelle de faible conductance thermique offre l'avantage d'agir comme isolant. Les plumes, une fourrure ou la graisse peuvent jouer ce rôle d'isolant. Pour les animaux qui régulent leur température corporelle par un comportement, une conductivité thermique élevée peut maximiser le transfert de chaleur.

Les organismes sont classés en fonction de la source de chaleur

Pendant de nombreuses années, les physiologistes ont classé les animaux selon qu'ils maintenaient une température corporelle constante ou que leur température corporelle fluctuait avec l'environnement. Les animaux qui régulaient leur température corporelle autour d'une valeur de référence ont été appelés *homéothermes*, et ceux qui permettaient à leur température corporelle de se conformer à l'environnement ont été appelés *poïkilothermes*.

Puisque les homéothermes ont tendance à maintenir leur température corporelle au-dessus de la température ambiante, ils étaient familièrement dits à « sang chaud », les poïkilothermes étant dits à « sang-froid ». Cette terminologie est cependant incorrecte, par exemple, lorsqu'un poïkilotherme vit dans un environnement de température stable (c'est le cas, par exemple, de nombreuses espèces de poissons d'eau profonde) ; leur température corporelle est plus constante que celle de certains homéothermes.

En raison de ces limitations de la dichotomie basée sur la régulation thermique, il a été proposé de distinguer les animaux sur base des

moyens utilisés pour générer de la chaleur. Ceux qui utilisent le métabolisme pour produire la chaleur corporelle et maintiennent leur température au-dessus de la température ambiante sont appelés *endothermes*. Les animaux dont le taux métabolique est relativement faible, qui n'utilisent pas le métabolisme à produire de la chaleur et qui ont une température corporelle conforme à la température ambiante sont dits *ectothermes*. Les endothermes ont tendance à avoir une faible conductivité thermique due à des mécanismes d'isolation, et les ectothermes ont tendance à avoir une haute conductivité thermique et manquent d'isolation.

Ces deux termes représentent des points extrêmes d'un spectre idéal de physiologie et d'adaptations. De nombreux animaux se situent entre ces extrêmes et peuvent être considérés comme *hétérothermes*. Si un animal présente des caractéristiques de chaque groupe, son classement est une question de jugement.

Les ectothermes régulent leur température par leur comportement

Malgré un faible métabolisme, les ectothermes peuvent réguler leur température par leur comportement. C'est le cas de la plupart des invertébrés. De nombreux papillons, par exemple, doivent atteindre une certaine température corporelle avant de pouvoir s'envoler. Dans la fraîcheur de la matinée, ils orientent leurs corps pour absorber au mieux la lumière du soleil. Les papillons et beaucoup d'autres insectes ont un réflexe de frissonnement qui réchauffe leurs muscles thoraciques et permet l'envol (figure 42.11).

Des vertébrés, autres que les mammifères et les oiseaux, sont ectothermes, leur température corporelle dépendant plus ou moins de la température ambiante. Cela ne signifie pas que ces animaux ne peuvent pas maintenir un niveau élevé et relativement constant de la température corpo-

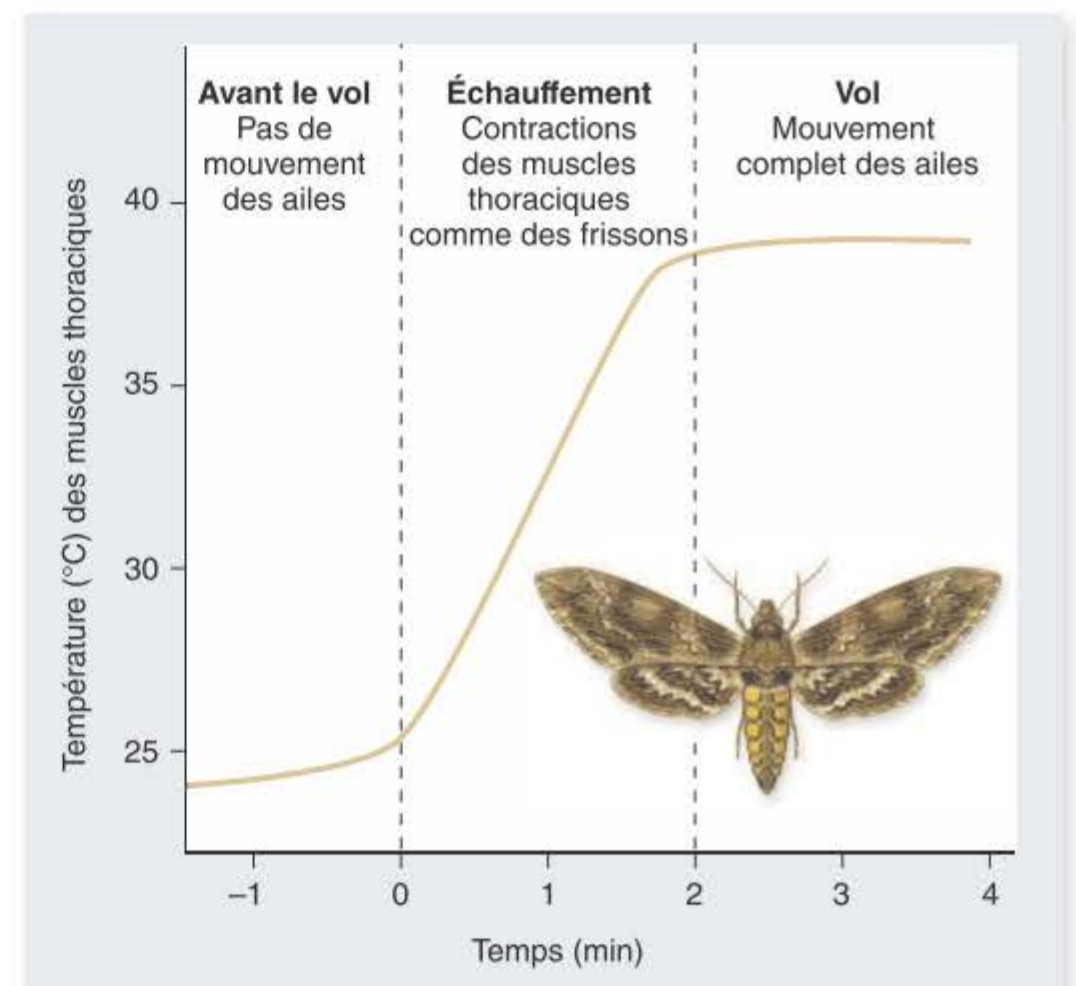


Figure 42.11 Thermorégulation chez les insectes. Certains insectes, comme le sphinx, un papillon de nuit, contractent leurs muscles thoraciques pour s'échauffer avant de s'envoler.

? **Question** Pourquoi la température musculaire cesse d'augmenter après 2 min?

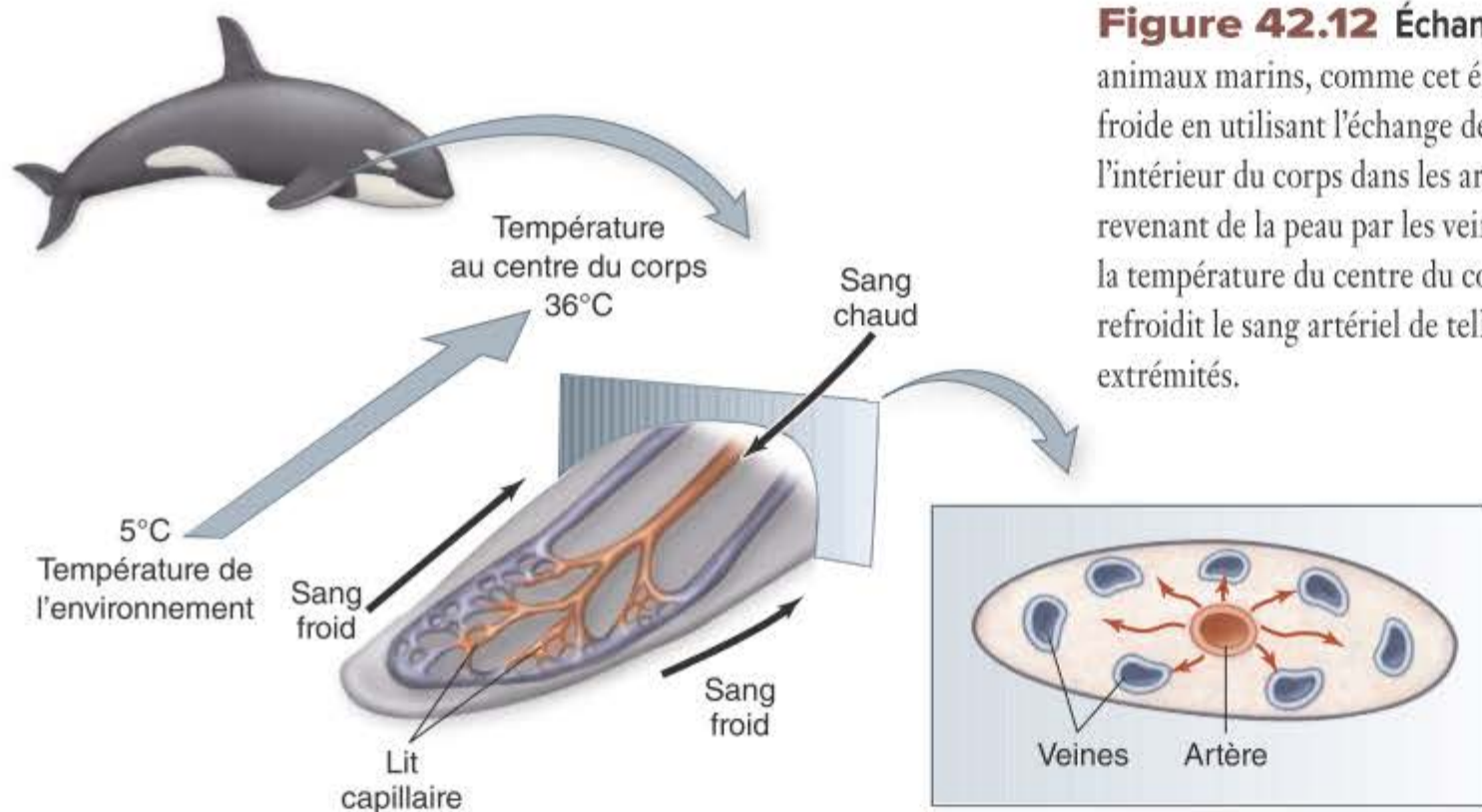


Figure 42.12 Échange de chaleur par contre-courant. De nombreux animaux marins, comme cet épaulard (orque), limite ses pertes de chaleur dans l'eau froide en utilisant l'échange de chaleur par contre-courant. Le sang chaud pompé de l'intérieur du corps dans les artères communique sa chaleur au sang plus froid revenant de la peau par les veines. Ceci réchauffe le sang veineux de telle manière que la température du centre du corps peut rester constante dans l'eau froide, et il refroidit le sang artériel de telle manière que la chaleur est perdue lorsqu'il atteint les extrémités.

relle, mais c'est leur comportement qui le permet. De nombreux vertébrés ectothermes sont en mesure de maintenir une homéostasie thermique ; en d'autres termes, ils sont des ectothermes homéothermes.

Par exemple, certains grands poissons, comme le thon, l'espadon et certains requins, peuvent maintenir des parties de leur corps à une température significativement plus élevée que celle de l'eau. Ils le font par *échange de chaleur à contre-courant*. Cette adaptation circulatoire permet au sang froid dans les veines d'être réchauffé par radiation thermique du sang artériel circulant à proximité des veines. Les artères transportent un sang plus chaud provenant du centre du corps (figure 42.12).

Les reptiles tentent de maintenir une température corporelle constante par leur comportement, en gagnant soit des endroits ensoleillés, soit ombragés. C'est pourquoi on voit souvent des lézards se chauffer au soleil. Certains reptiles peuvent maximiser les effets de la régulation comportementale en contrôlant également leur circulation sanguine. L'iguane marin peut augmenter ou diminuer son rythme cardiaque et contrôler la dilatation ou la contraction des vaisseaux sanguins afin de réguler la quantité de sang disponible pour le transfert de chaleur par conduction. L'augmentation du rythme cardiaque et la vasodilatation lui permettent d'absorber au mieux la chaleur quand il est sur la terre ferme, alors qu'une diminution du rythme cardiaque et une vasoconstriction atténuent le refroidissement lorsqu'il plonge à la recherche de sa nourriture.

En général, les ectothermes ont un faible métabolisme, ce qui offre l'avantage de requérir moins d'énergie, donc de nourriture. On estime qu'un lézard (ectotherme) n'a besoin que de 10 % de l'apport énergétique d'une souris (endotherme) de taille comparable. Le compromis est que les ectothermes ne sont pas capables d'une activité soutenue requérant beaucoup d'énergie.

Les endothermes génèrent, par leur métabolisme, de la chaleur qu'il faut conserver ou dissiper

Pour les animaux endothermes, la chaleur interne générée par un taux métabolique élevé peut être utilisée par l'organisme pour résister au froid, mais en cas de température élevée, elle doit pouvoir être dissipée.

La réaction la plus simple pour adapter le transfert de chaleur est le contrôle du flux sanguin à la surface de l'animal. Dilater les vaisseaux augmente le volume sanguin irriguant la surface, ce qui accroît l'échange

thermique et la dissipation de la chaleur. En revanche, la constriction des vaisseaux sanguins réduit le débit sanguin de surface et diminue l'échange thermique, limitant ainsi la quantité de chaleur perdue par conduction.

Lorsque la température ambiante s'élève, de nombreux endothermes tirent avantage, en transpirant ou en haletant, du refroidissement dû à l'évaporation. Certains mammifères, notamment les humains, transpirent, ce qui implique une sécrétion aqueuse par les glandes sudoripares distribuées à la surface du corps. L'évaporation de l'eau refroidit la peau, et ce refroidissement est transféré à l'intérieur par les capillaires proches de la surface cutanée. Le halètement est une adaptation similaire utilisée par certains mammifères et les oiseaux qui tirent parti des surfaces respiratoires pour le refroidissement par évaporation. Pour que le refroidissement par évaporation soit efficace, l'animal doit être en mesure de tolérer la perte d'eau.

L'endothermie est avantageuse car elle permet le maintien d'une activité consommatrice d'énergie. Le prix à payer est le taux métabolique élevé qui requiert un apport énergétique relativement constant sous forme notamment de nourriture.

Taille du corps et isolation

La taille influence fortement la physiologie animale ; un changement de masse corporelle a un effet important sur le métabolisme. Les petits animaux consomment beaucoup plus d'énergie par unité de masse corporelle que les grands animaux, comme l'illustre bien le diagramme de relation « souris-éléphant » exprimant le métabolisme en fonction de la taille des mammifères (Figure 43.13).

Pour les petits animaux avec un métabolisme élevé, la surface est également importante par rapport à leur volume. Dans un environnement froid, les conséquences peuvent être désastreuses : ils ne peuvent pas produire assez de chaleur interne pour compenser les pertes par conduction dues à leur grande surface. Aussi, pour maintenir leur température corporelle, les petits animaux endothermes exposés au froid ont besoin d'une isolation efficace, dont l'épaisseur variera géographiquement ainsi qu'avec les saisons.

Dans des environnements chauds, les grands animaux sont confrontés au défi inverse. Bien que leur métabolisme soit relativement bas, ils continuent à produire beaucoup de chaleur, alors que sa dissipation par conduction est faible en raison d'une surface corporelle relativement petite. Aussi, dans des environnements chauds, les grands animaux endo-

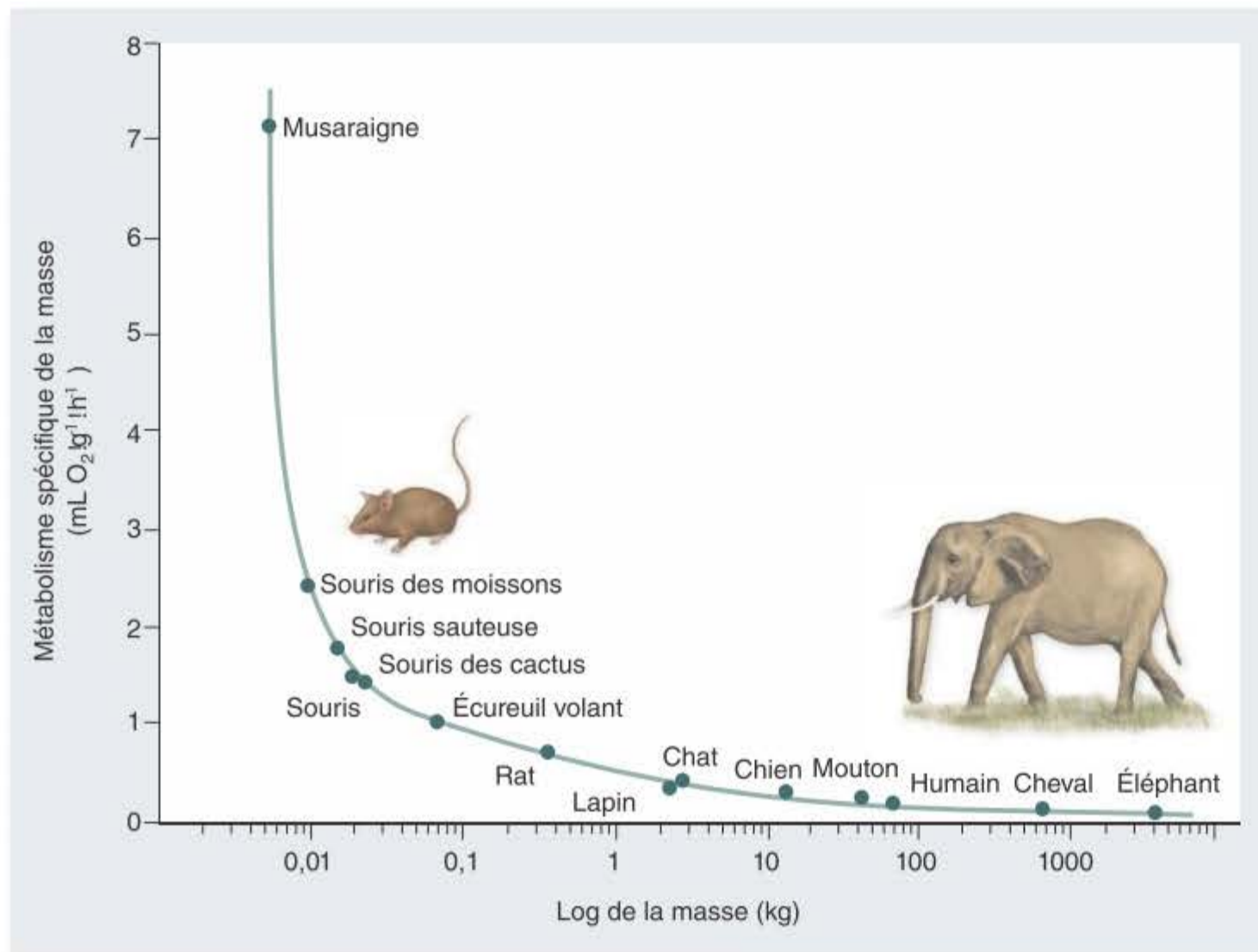


Figure 42.13 Relations entre la masse corporelle et le taux métabolique chez les mammifères. Les petits animaux ont un métabolisme beaucoup plus élevé par unité de masse corporelle que les grands animaux. Dans la figure, le métabolisme spécifique de la masse (exprimée en consommation d'O₂ par unité de masse) est exprimé en fonction de la masse corporelle. Notez que l'axe de la masse corporelle est logarithmique.

Analyse des données
 Qu'est-ce que ce graphique prévoit à propos des défis auxquels sont confrontés les mammifères plus petits par rapport aux plus grands dans un environnement chaud ou froid?

thermes ont généralement peu d'isolation et adoptent des comportements qui leur font perdre de la chaleur ; par exemple, le battement des oreilles permet aux éléphants d'augmenter la perte thermique par convection.

Thermogenèse

Lorsque la température chute en dessous d'un seuil critique, les réactions endothermiques normales ne suffisent pas à réchauffer un animal. Celui-ci doit alors recourir à la thermogenèse, c'est-à-dire au métabolisme énergétique producteur de chaleur, qui peut se produire de deux manières : avec ou sans frissons.

Dans la thermogenèse sans frissons, le métabolisme des graisses se met à produire de la chaleur au lieu d'ATP. Ce processus peut se dérouler dans tout le corps, mais chez certains mammifères, des réserves lipidiques, dites de graisse brune, sont utilisées spécifiquement à cet effet. Celle-ci est stockée sous forme de petits dépôts dans le cou et entre les épaules ; elle est très vascularisée, ce qui permet un transfert efficace de la chaleur en dehors du site de production.

Pour la thermogenèse avec frissons, des muscles se contractent dans le seul but de produire de la chaleur. Ce moyen est utilisé par des vertébrés endothermes et des insectes, comme nous l'avons vu dans l'exemple du papillon qui prépare son envol par un échauffement musculaire préalable. Frissonner implique la mobilisation de muscles antagonistes afin de minimiser l'amplitude des mouvements, tout en augmentant l'hydrolyse de l'ATP productrice de chaleur.

La thermorégulation chez les mammifères est contrôlée par l'hypothalamus

Les mammifères qui gardent une température basale relativement constante ont besoin d'un système global de contrôle (décrit dans la figure 42.14). Le système fonctionne un peu comme un thermostat domestique qui ajuste l'intensité du chauffage ou de la climatisation. Un tel système maintient la température de la maison à une valeur de réf-

rence en amplifiant l'activité de la chaudière ou du climatiseur selon les besoins.

Lorsque la température de votre sang dépasse 37 °C, des neurones dans l'hypothalamus détectent le changement de température (voir chapitres 42 et 44). Ce qui conduit à la stimulation du *centre de thermolyse* dans l'hypothalamus. Les nerfs provenant de cette zone provoquent une dilatation des vaisseaux sanguins périphériques, ce qui amène plus de sang à la surface pour dissiper la chaleur. D'autres nerfs stimulent la production de sueur, permettant le refroidissement par évaporation. La production d'hormones stimulatrices du métabolisme est également inhibée.

Lorsque votre température descend en dessous de 37 °C, l'hypothalamus réagit par intervention du *centre de thermogenèse*. Les nerfs qui en proviennent induisent une vasoconstriction qui réduit le transfert de chaleur ; ils évitent également le refroidissement par évaporation en inhibant la transpiration. La production accrue d'adrénaline par la médullaire surrénale et de TSH par l'hypophyse antérieure augmente le métabolisme. Dans le cas de la TSH, l'effet est indirect ; cette hormone stimule la sécrétion thyroïdienne de thyroxine, qui stimule le métabolisme (voir chapitre 45). La combinaison de l'adrénaline et de la stimulation du nerf autonome du tissu adipeux peut intensifier la production de chaleur interne par thermogenèse. Finalement, lorsque la valeur de référence sera atteinte, le système hypothalamique de rétrocontrôle négatif inactivera la réaction productrice de chaleur.

Fièvre

Les substances responsables de la **fièvre** sont appelées **pyrogènes**. L'augmentation de température est la conséquence d'un ajustement vers le haut de la valeur de la référence thermique. De nombreuses bactéries Gram-négatives ont, dans leur paroi cellulaire, des substances appelées endotoxines, qui ont des effets pyrogènes. Des médiateurs produits par les globules blancs circulants sont également des pyrogènes. En agissant sur l'hypothalamus, les pyrogènes élèvent la valeur de référence.

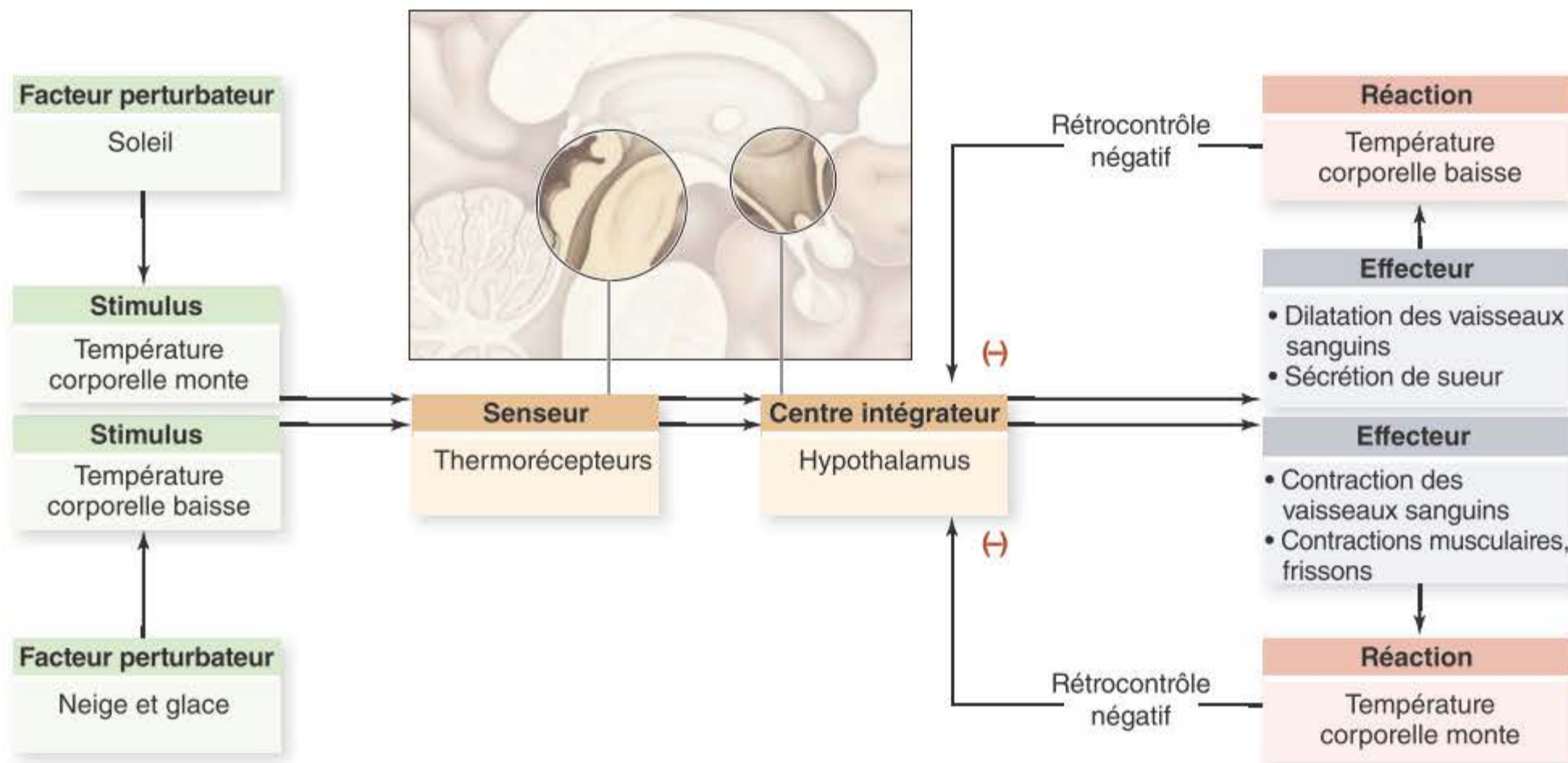


Figure 42.14 Contrôle de la température corporelle par l'hypothalamus. Des thermorécepteurs centraux dans le cerveau et à l'intérieur de l'abdomen sont sensibles aux changements de la température centrale. Ces thermorécepteurs sont connectés aux neurones de l'hypothalamus, qui agit comme un centre intégrateur. L'hypothalamus contrôle alors les effecteurs comme les vaisseaux sanguins et les glandes sudoripares par les nerfs sympathiques. L'hypothalamus cause aussi la libération d'hormones qui stimulent la thyroïde pour produire la thyroxine, qui module le métabolisme.

Analyse des données Les pyrogènes sont des composés qui entraînent une augmentation de la température, c'est-à-dire de la fièvre. Quelle partie de ce système serait la cible des pyrogènes?

Une augmentation de la température paraît inhiber la multiplication bactérienne, ce qui expliquerait un effet bénéfique de la fièvre. Un argument à l'appui de cette hypothèse est l'observation que certains animaux ectothermes répondent aux pyrogènes. Lorsque des iguanes du désert ont été infectés par des bactéries productrices de pyrogènes, ils ont accru leur température en s'exposant plus longtemps au soleil ; la fièvre a été induite par une adaptation du comportement.

Ces observations ont conduit à une réévaluation de la fièvre, comme état devant être traité médicalement. Elle est une réaction normale à l'infection, et les traitements visant à supprimer la fièvre pourraient contrecarrer ce système de défense. Cependant, une fièvre très élevée peut devenir dangereuse, car elle peut déclencher des convulsions ou faire délirer.

Torpeur

Les endothermes peuvent diminuer à la fois le métabolisme et la température corporelle afin d'induire un état de dormance, appelé *torpeur*. Celui-ci permet à un animal de réduire ses besoins alimentaires puisque son métabolisme est ralenti. Chez certains oiseaux, comme le colibri, la température corporelle peut baisser, durant la nuit, jusqu'à 25 °C. Cette stratégie s'observe chez les petites endothermes ; chez les grands mammifères, leur masse trop grande ne permet pas un refroidissement rapide.

L'*hibernation* est un état extrême dans lequel une torpeur profonde dure pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois. Dans ce cas, la température de l'animal peut descendre jusqu'à 20 °C en dessous de sa valeur de référence normale pour une période de temps prolongée. La plupart des animaux qui hibernent sont de taille moyenne ; les petits endothermes consomment rapidement une quantité d'énergie plus grande que celle qu'ils peuvent accumuler, même en réduisant leur métabolisme.

Les très grands mammifères ne paraissent pas hiberner. On a pensé longtemps que les ours hibernaient, mais en réalité, leur température est réduite de quelques degrés seulement ; ils entrent dans un sommeil d'hiver prolongé. Grâce à leur masse thermique importante et à leur faible taux de perte de chaleur, ils ne semblent pas avoir besoin de l'économie énergétique supplémentaire que permet l'hibernation.

Synthèse 42.8

La valeur Q_{10} d'une enzyme indique dans quelle mesure son activité change lors d'une élévation de température de 10 °C ; elle est applicable au métabolisme général d'un organisme. La chaleur corporelle, qui est la résultante de la production moins les pertes, peut être transférée par conduction, convection, évaporation et rayonnement. Les organismes qui produisent de la chaleur et peuvent maintenir une température supérieure à celle du milieu ambiant sont appelés endothermes, alors que les ectothermes ont une température qui dépend de celle de l'environnement. Les deux types peuvent réguler leur température, mais les ectothermes le font principalement par leur comportement. Les mammifères stabilisent leur température corporelle par l'hypothalamus qui régule le métabolisme. Deux boucles de rétroaction négative interviennent pour augmenter ou diminuer la température selon les besoins.

- Les animaux étaient dits à « sang à froid » ou « à sang chaud ». Pourquoi ces qualifications sont-elles considérées comme dépassées et inexactes ?



42.1 Organisation du corps des vertébrés (voir figure 42.1)

Les tissus sont des groupes de cellules d'un seul type et d'une seule fonction.
Les principaux tissus des vertébrés sont les épithéliums, le tissu conjonctif, les muscles et les tissus nerveux.

Les organes et systèmes d'organes exercent des fonctions spécialisées.
Les organes consistent en un groupe de différents tissus qui forment une unité structurale et fonctionnelle. Un système d'organes est un groupe d'organes qui contribuent à une même fonction.

Le plan corporel général des vertébrés est un tube à l'intérieur d'un tube, avec un support interne (figure 42.2).

Le tube du tractus digestif est entouré par le squelette et des organes accessoires et est enveloppé par des téguments

Les vertébrés ont des cavités corporelles dorsale et ventrale.

La cavité corporelle dorsale se situe dans le crâne et les vertèbres. La cavité corporelle ventrale, entourée par les côtes et les muscles abdominaux, comprend la cavité thoracique et la cavité abdomino-pelvienne.

L'espace cœlomique de la cavité abdomino-pelvienne est la cavité péritonéale ; celui qui enveloppe le cœur est la cavité péricardique et celui qui entoure chaque poumon est la cavité pleurale.

42.2 Tissu épithélial

Un épithélium forme une barrière.

Les cellules épithéliales, jointes étroitement entre elles, forment une barrière sélective. Elles sont constamment remplacées et peuvent se régénérer lors de la cicatrisation d'une blessure. Un épithélium a une surface apicale libre et une surface basale attachée à des tissus conjonctifs sous-jacents.

Les types épithéliaux reflètent leur fonction.

On distingue deux grands types d'épithélium : l'un, composé d'une seule couche cellulaire, est dit simple ; l'autre, qui comprend plusieurs couches cellulaires, est dit stratifié. Ceux-ci sont par ailleurs subdivisés en pavimenteux, cubique ou cylindrique selon la forme des cellules (tableau 42.1). Les glandes des vertébrés sont des épithéliums invaginés.

42.3 Tissu conjonctif

Le tissu conjonctif proprement dit peut être lâche ou dense.

Les tissus conjonctifs contiennent diverses cellules dans une matrice extracellulaire faite de protéines et de substance fondamentale. Le tissu conjonctif proprement dit est divisé en tissu conjonctif lâche et en tissu conjonctif dense.

Les tissus conjonctifs spécialisés ont des propriétés uniques.

Des tissus conjonctifs spécialisés, comme le cartilage, l'os et le sang, contiennent des cellules et des matrices particulières (voir tableau 42.2). Le cartilage est produit par des chondrocytes et, l'os, par des ostéocytes.

Tous les tissus conjonctifs se ressemblent.

Tous les tissus conjonctifs proviennent du mésoderme et contiennent diverses cellules dans une matrice extracellulaire.

42.4 Tissu musculaire (tableau 42.3)

Le muscle lisse est présent dans la plupart des organes.

Les muscles lisses involontaires sont présents dans les viscères et sont composés de cellules fusiformes contenant un seul noyau.

Les muscles squelettiques assurent les mouvements corporels.

Les muscles squelettiques ou striés, dits aussi volontaires, sont attachés par des tendons aux os, et les cellules (fibres) contiennent de multiples noyaux et des myofibrilles contractiles.

Le cœur est composé de muscle cardiaque.

Le muscle cardiaque consiste en cellules musculaires striées interconnectées par des jonctions communicantes qui permettent leur coordination.

42.5 Tissu nerveux (tableau 42.4)

Des neurones s'étendent parfois très loin.

Les neurones ont un corps cellulaire avec un noyau, des dendrites, qui reçoivent des impulsions, et un axone, qui transmet les impulsions à distance.

La névroglie fournit un soutien aux neurones.

La névroglie contribue à la régulation de l'environnement neuronal. Certains types forment les gaines de myéline qui entourent certains axones.

Deux divisions du système nerveux coordonnent l'activité.

Le système nerveux central comprend le cerveau et la moelle épinière, alors que les nerfs et les ganglions constituent le système nerveux périphérique.

42.6 Vue d'ensemble des systèmes d'organes des vertébrés (figure 42.6)

La communication et l'intégration sont sensibles à l'environnement et réagissent en conséquence.

Les trois systèmes d'organes impliqués dans la communication et l'intégration sont les systèmes nerveux, sensoriel et endocrinien.

Le soutien et le mouvement du squelette sont essentiels pour tous les animaux

Le système musculo-squelettique comprend des muscles et le squelette sur lequel ils agissent.

La régulation et la stabilité biochimiques de l'organisme assurent sa survie.

Les systèmes digestif, circulatoire, respiratoire et urinaire assurent l'ingestion de nutriments et l'élimination des déchets.

Le corps peut se défendre contre des agresseurs et des envahisseurs.

Le système tégumentaire forme une barrière contre les attaques ; le système immunitaire monte une contre-attaque contre les pathogènes étrangers.

La reproduction et le développement assurent la continuité des espèces.

Toutes les espèces de vertébrés sont capables de reproduction sexuée.

42.7 Homéostasie

L'homéostasie est le maintien dynamique de la stabilité du milieu interne et est essentiel à la vie.

Des mécanismes de rétrocontrôle négatif gardent les valeurs dans certaines limites.

Des boucles de rétrocontrôle négatif comprennent un capteur, un intégrateur central et des effecteurs qui répondent aux écarts par rapport à la valeur de référence.

Des effecteurs antagonistes agissent dans des directions opposées.

Les boucles de rétrocontrôle négatif interviennent souvent sous forme de paires dont les membres antagonistes poussent et tirent l'un contre l'autre.

Des mécanismes de rétrocontrôle positif amplifient un changement.

Dans une boucle de rétrocontrôle positif, un changement dans une direction déclenche des changements allant dans cette même direction.

42.8 Régulation de la température corporelle

Le Q_{10} est une mesure de sensibilité à la température.

Q_{10} est le rapport des vitesses de réaction à deux températures différant de 10 °C. Pour des réactions chimiques, le Q_{10} est d'environ 2. La plupart des organismes ont un Q_{10} d'environ 2 à 3, ce qui indique que la température affecte surtout des réactions enzymatiques.

La température est déterminée par des facteurs internes et externes.

Les facteurs internes comprennent le métabolisme ; des facteurs externes affectent le transfert de chaleur. La chaleur est transférée par radiation, conduction, évaporation et convection.

Les organismes sont classés en fonction de la source de chaleur.

Les endothermes ont un taux métabolique élevé et génère de la chaleur interne, alors que chez les ectothermes, le métabolisme est bas et leur température corporelle est imposée par celle du milieu ambiant.

Les ectothermes régulent leur température par leur comportement.

Le mouvement des ectothermes dans leur environnement leur permet d'adapter leur température (figures 42.11 et 42.12).

Les endothermes génèrent, par leur métabolisme, de la chaleur qu'il faut conserver ou dissiper.

Les endothermes régulent leur température par des changements du métabolisme et du flux sanguin ainsi que par le frissonnement ou l'halètement. La thermogenèse survient lorsque la température tombe sous un seuil critique.

La thermorégulation chez les mammifères est contrôlée par l'hypothalamus (figure 42.14).

L'hypothalamus agit par des centres de thermolyse et de thermogenèse afin de garder la température sanguine près du point de référence. La fièvre est une augmentation de la température corporelle ; la torpeur est un état de dormance associé à une diminution du métabolisme.



Questions

COMPRÉHENSION

- Parmi les cavités suivantes, quelle est celle qui devrait contenir votre estomac ?
 - Péritonéale
 - Péricardique
 - pleural
 - thoracique
- Les tissus épithéliaux font tout ce qui suit, sauf
 - constituent des barrières ou des frontières.
 - absorbent les éléments nutritifs dans le tube digestif.
 - transmettent des informations dans le système nerveux central.
 - permettent des échanges gazeux dans les poumons.
- Les ectothermes
 - ne peuvent pas réguler leur température corporelle.
 - régulent leur température interne grâce à l'énergie métabolique.
 - peuvent réguler la température par leur comportement.
 - régulent leur température en dissipant mais non en générant de la chaleur.
- Les tissus conjonctifs comprennent un groupe diversifié de cellules, mais ils partagent tous
 - une forme cubique.
 - la capacité de produire des hormones.
 - la capacité de se contracter.
 - la présence d'une matrice extracellulaire.
- Les cellules musculaires squelettiques diffèrent des cellules « typiques » des mammifères en ce qu'elles
 - contiennent des noyaux multiples.
 - ont des mitochondries.
 - n'ont pas de membrane plasmique.
 - ne sont pas dérivées de tissus embryonnaires.
- Des exemples de sites musculaires lisses sont
 - la paroi des vaisseaux sanguins.
 - l'iris de l'œil.
 - la paroi du tube digestif.
 - tous ces éléments.
- La fonction de névroglie est de
 - porter des messages du SNP au SNC.
 - soutenir et protéger les neurones.
 - stimuler la contraction musculaire.
 - garder les souvenirs.
- Les cellules musculaires squelettiques sont
 - de grandes cellules multinucléées qui se forment par la croissance.
 - de grandes cellules multinucléées qui se forment par la fusion de cellules plus petites.
 - de petites cellules reliées par de nombreuses jonctions communicantes.
 - de grandes cellules avec un seul noyau.
- Les tissus conjonctifs, bien que très diversifiés par leur structure et leur distribution, partagent un point commun ; le lien entre d'autres types tissulaires. Bien que tous les tissus cités ci-après semblent répondre à ce critère, l'un d'eux n'est pas un type de tissu conjonctif. Lequel ?
 - Sang
 - Muscle
 - Tissu adipeux
 - Cartilage

APPLICATION

1. Qu'est-ce que tous les organes du corps ont en commun ?
 - a. Chacun contient les mêmes types de cellules.
 - b. Chacun est composé de plusieurs sortes de tissus.
 - c. Chaque est dérivé de l'ectoderme.
 - d. Chacun peut être considéré comme faisant partie du système circulatoire.
2. La polyarthrite rhumatoïde est une maladie auto-immune qui s'attaque aux parois articulaires. Les cellules qui tapissent ces articulations, et dont la destruction provoque les symptômes de l'arthrite, sont connues sous le nom
 - a. ostéocytes.
 - b. érythrocytes.
 - c. chondrocytes.
 - d. thrombocytes.
3. Supposons qu'un virus extraterrestre arrive sur terre et provoque des dommages au système nerveux en attaquant les structures des neurones. Laquelle des structures suivantes seraient à l'abri de l'attaque ?
 - a. L'axone
 - b. Les dendrites
 - c. La névroglie
 - d. Tous seraient attaqués par le virus.
4. L'homéostasie
 - a. est un processus dynamique.
 - b. décrit le maintien de l'environnement interne du corps.
 - c. est essentielle à la vie.
 - d. est l'ensemble de ces affirmations.

5. Parmi les scénarios suivants, lequel décrit correctement ce qu'est une rétroaction positive ?
 - a. Si la température augmente dans votre chambre, votre appareil de chauffage accroît sa production d'air chaud.
 - b. Si vous buvez trop d'eau, vous produisez plus d'urine.
 - c. Si le prix de l'essence augmente, les conducteurs diminuent la longueur de leurs déplacements.
 - d. Si vous avez froid, vous commencez à frissonner.
6. Les trois types de muscles partagent tous
 - a. une structure qui comprend des stries.
 - b. une membrane qui est électriquement excitable.
 - c. la capacité de se contracter.
 - d. la caractéristique d'auto-excitation.

RÉVISION

1. Supposons que l'on découvre une nouvelle maladie qui affecte l'absorption des éléments nutritifs par l'intestin et qui est responsable de lésions cutanées. Est-il possible qu'une maladie puisse impliquer les mêmes tissus ? Comment cela pourrait-il se produire ?
2. Quels sont les systèmes d'organes impliqués dans la régulation et l'entretien ? Pourquoi pensez-vous qu'ils sont liés de cette façon ?
3. Nous avons tous expérimenté la sensation de faim. La faim est-elle un stimulus de rétrocontrôle positif ou négatif ? Décrivez les étapes de la réponse à ce stimulus.
4. Pourquoi l'homéostasie est-elle décrite comme un processus dynamique ? Comment une rétroaction négative intervient-elle dans ce processus ? Comment des effecteurs antagonistes produisent-ils un état stable, et comment cela est-il lié à l'idée d'un processus dynamique ?