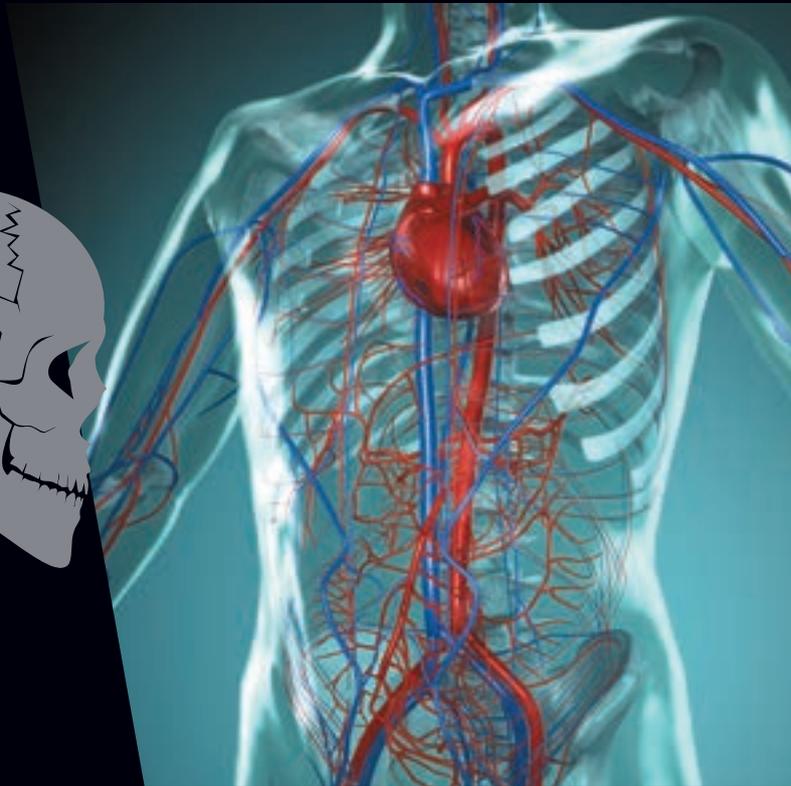


Sherwood

# Physiologie humaine

Traduction de Fabien Ectors

3<sup>e</sup> édition



 de boeck

 NOTO  
VERSION NUMÉRIQUE 



# Physiologie humaine

## **Chez le même éditeur**

BUTLER, HEALY, MICHELL, Radiologie anatomique

COCHARD, LOURYAN, NETTER, Atlas d'embryologie humaine de Netter

DALLEY & MOORE, Anatomie médicale, 3<sup>e</sup> éd.

FALLER, Le corps humain, 5<sup>e</sup> éd.

GOSLING, HARRIS, WHITMORE et WILLAN, Anatomie humaine. Atlas en couleurs

SCHWARZ, Anatomie de poche

THIELE, Anatomie et physiopathologie humaine de poche

TANK, GEST, Atlas d'anatomie

TORTORA & DERRICKSON, Principes d'anatomie et de physiologie, 4<sup>e</sup> éd.

Sherwood

# Physiologie humaine

3<sup>e</sup> édition

Traduction de l'édition américaine de Fabien Ectors

**Ouvrage original**

Sherwood Lauralee, *Fundamentals of Human Physiology*, 4<sup>th</sup> edition. Published in the English language by Brooks Cole, a Cengage Learning Company (Copyright © 2012). All rights reserved.

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine de spécialisation, consultez notre site web: [www.deboecksuperieur.com](http://www.deboecksuperieur.com)

© DB SUP s.a., 2015  
Fond Jean Pâques, 4 – 1348 Louvain-la-Neuve

3<sup>e</sup> édition

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

Imprimé en *Italie*

Dépôt légal:  
Bibliothèque nationale, Paris: juin 2015  
Bibliothèque royale de Belgique, Bruxelles: 2015/0074/099

ISBN 978-2-8041-8996-9

*À ma famille,  
en l'honneur des générations à venir  
et en souvenir de celles du passé,  
sources de joie d'aujourd'hui  
et d'espoir pour l'avenir.*

*À mes parents,  
Larry (in memoriam) et Lee Sherwood*

*À mon mari,  
Peter Marshall*

*À mes filles et « fils »,  
Melinda et Mark Marple  
Allison Tadros et Bill Krantz*

*À mes petits-enfants  
Lindsay Marple  
Emily Marple  
Alexander Tadros  
Lauren Krantz*



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction à la physiologie et à l'homéostasie</b>	<b>1</b>		
	<b>Introduction à la physiologie</b>	<b>1</b>		
	La physiologie se focalise sur les mécanismes d'action	1		
	La structure et la fonction sont inséparables	1		
	<b>Niveaux d'organisation dans l'organisme</b>	<b>1</b>		
	Le niveau chimique: l'organisme est composé d'une variété de molécules et d'atomes	2		
	Le niveau cellulaire: les cellules, unités de base de la vie	2		
	Le niveau tissulaire: les tissus sont des groupements de cellules de même spécialisation	3		
	Le niveau des organes: un organe est une unité fonctionnelle faite de différents tissus	4		
	Le niveau du système corporel: un système est un ensemble d'organes connexes	5		
	Le niveau de l'organisme: les systèmes corporels forment un organisme fonctionnel complet	5		
	<b>Le concept d'homéostasie</b>	<b>5</b>		
	Les cellules de l'organisme sont en contact avec un environnement interne très contrôlé	5		
	Les systèmes de l'organisme maintiennent l'homéostasie, un état d'équilibre dynamique de l'environnement interne	7		
	<b>Les systèmes de contrôle homéostatique</b>	<b>11</b>		
	Les systèmes de contrôle homéostatique peuvent opérer localement ou globalement	11		
	Le rétrocontrôle négatif s'oppose à un changement initial et est largement utilisée pour maintenir l'homéostasie	11		
	Un rétrocontrôle positif amplifie un changement initial	14		
	Des perturbations dans l'homéostasie peuvent mener à la maladie ou la mort	15		
<b>2</b>	<b>Physiologie cellulaire</b>	<b>19</b>		
	<b>Observation des cellules</b>	<b>19</b>		
	<b>Généralités sur la structure cellulaire</b>	<b>19</b>		
	La membrane cellulaire forme la frontière de la cellule	20		
	Le noyau contient l'ADN	20		
			Le cytoplasme comporte différents organites, le cytosquelette et le cytosol	21
			<b>Réticulum endoplasmique et synthèses localisées</b>	<b>21</b>
			Le réticulum endoplasmique rugueux synthétise les protéines destinées à la sécrétion ou à la construction de membranes	21
			Le réticulum endoplasmique lisse empaquette les nouvelles protéines dans des vésicules de transport	21
			<b>Appareil de Golgi et exocytose</b>	<b>22</b>
			Des vésicules de transport portent vers le complexe de Golgi leur contenu qui y subit des modifications additionnelles	22
			Le complexe de Golgi conditionne les vésicules de sécrétion destinées à l'exocytose	23
			<b>Lysosomes et endocytose</b>	<b>24</b>
			Les matériaux extracellulaires destinés à l'attaque des lysosomes sont importés dans la cellule par la phagocytose	24
			Les lysosomes suppriment les organites usés	25
			<b>Peroxisomes et détoxification</b>	<b>25</b>
			Les peroxysomes contiennent des enzymes oxydants qui détoxifient de nombreux déchets	25
			<b>Mitochondries et production d'ATP</b>	<b>26</b>
			Les mitochondries sont entourées d'une double membrane	26
			Les mitochondries jouent un rôle essentiel dans la production d'ATP	27
			La cellule produit plus d'énergie en aérobie qu'en anaérobie	30
			L'énergie stockée dans l'ATP est employée pour des synthèses, des transports de matières et du travail mécanique	33
			<b>Le cytosol, gel cellulaire</b>	<b>33</b>
			Le cytosol a un rôle important au niveau du métabolisme intermédiaire, de la synthèse protéique ribosomale, et du stockage des nutriments	34
			<b>Le cytosquelette: «squelette et muscle» de la cellule</b>	<b>35</b>
			Les microtubules contribuent à la forme irrégulière de la cellule et à certains de ses mouvements complexes	35
			Les microfilaments sont importants pour les systèmes contractiles cellulaires et en tant que tuteurs	38

Les filaments intermédiaires sont importants dans les régions cellulaires soumises à des contraintes mécaniques 39

### 3 Membrane cellulaire et potentiel de membrane 43

#### Structure et fonctions de la membrane 43

La membrane cellulaire est faite d'une double couche de lipides

dans laquelle sont enchâssées des protéines 43

La double couche lipidique est la structure de base de la barrière qui entoure la cellule 45

Les protéines de la membrane remplissent une variété de fonctions spécifiques 45

Les glucides de la membrane sont des marqueurs d'identité 47

#### Adhérence entre cellules 47

La matrice extracellulaire a le rôle de « colle » biologique 47

Certaines cellules sont reliées directement par des jonctions spécialisées 48

#### Généralités sur les transports membranaires 49

Les substances liposolubles de toutes tailles de même que les substances hydrosolubles de petite taille peuvent traverser la membrane plasmique sans assistance 50

Le transport transmembranaire actif de substances utilise de l'énergie alors que le transport passif n'en utilise pas 50

#### Le transport membranaire non assisté 50

Les particules qui peuvent traverser passivement la membrane plasmique diffusent en suivant leur différence de concentration 50

Les ions capables de traverser la membrane se déplacent aussi sous l'effet de leur gradient électrique 52

L'osmose est la diffusion nette de l'eau sous l'effet de son propre gradient de concentration 52

La tonicité renvoie à l'effet que produit, sur le volume cellulaire, la concentration de solutés ne pénétrant pas dans une solution 55

#### Transport assisté à travers la membrane 55

Les transporteurs spécialisés modifient leur forme 56

La diffusion facilitée correspond à un transporteur spécialisé passif 58

Le transport actif utilise un transporteur et de l'énergie pour déplacer une substance contre son gradient de concentration 58

Dans le transport par vésicule, des matériaux entrent dans la cellule ou en sortent enveloppés dans de la membrane 62

#### Potentiel de membrane 62

Le potentiel de membrane correspond à la séparation de charges opposées de part et d'autre de la membrane 62

Le potentiel de membrane est dû à la différence de concentration d'ions spécifiques et à la perméabilité de la membrane vis-à-vis de ces ions 63

### 4 Principes de la communication nerveuse et hormonale 71

#### Introduction à la communication nerveuse 71

Les nerfs et les muscles sont des tissus excitables 71

Le potentiel de membrane diminue en cas de dépolarisation et augmente en cas d'hyperpolarisation 71

Les signaux électriques sont produits par des modifications des déplacements d'ions à travers la membrane cellulaire 72

#### Potentiels graduels 72

L'amplitude d'un potentiel graduel dépend de l'intensité de l'événement déclencheur 72

La propagation du potentiel graduel se fait de façon passive par des courants locaux 73

Extinction des potentiels graduels sur une courte distance 74

#### Potentiel d'action 74

Le potentiel d'action est une inversion soudaine et transitoire du potentiel de membrane 75

D'importants changements de la perméabilité de la membrane et des déplacements d'ions sont à l'origine du potentiel d'action 75

La pompe Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> restaure progressivement les gradients de concentration altérés par le potentiel d'action 78

Le potentiel d'action se propage à toute la cellule excitable du collet jusqu'aux terminaisons de l'axone 78

Après sa naissance, le potentiel se propage à toute la fibre 80

La période réfractaire assure la propagation à sens unique du potentiel d'action 81

Le potentiel d'action est une réponse par tout ou rien 83

L'intensité du stimulus est codée par la fréquence des potentiels d'action 83

La myélination augmente la vitesse de conduction du potentiel d'action 83

#### Synapses et rôle intégrateur des neurones 85

Les synapses sont les jonctions entre des neurones pré- et postsynaptiques 85

Un neurotransmetteur porte le message dans une synapse 85

Certaines synapses excitent le neurone postsynaptique, d'autres l'inhibent 86

Chaque combinaison neurotransmetteur-récepteur produit toujours la même réponse	87	Il y a trois catégories de neurones: neurones afférents, neurones efférents et interneurons	108
Le neurotransmetteur est rapidement éliminé de la fente synaptique	87	La névroglie est le support des interneurons et soutient leurs activités métaboliques et fonctionnelles	109
Le potentiel postsynaptique final dépend de la sommation de l'activité de toutes les synapses afférentes	88	<b>Protection et approvisionnement du cerveau</b>	111
Certains neurones sécrètent des neuromodulateurs en plus d'être des neurotransmetteurs	90	Le système nerveux central est bien protégé	112
Les drogues et les maladies peuvent modifier la transmission synaptique	90	Le SNC a besoin de l'apport continu par le sang de glucose et d'oxygène	112
Les neurones forment des voies nerveuses complexes divergentes et convergentes	91	<b>Généralités sur le système nerveux</b>	112
<b>Communication entre cellules et transduction des signaux</b>	91	<b>Cortex cérébral</b>	114
La communication entre les cellules est orchestrée surtout par des messagers chimiques extracellulaires	91	Les hémisphères cérébraux sont faits d'une couche périphérique de matière grise entourant de la substance blanche	114
Les messagers chimiques causent la réponse par la transduction du signal	93	Les quatre paires de lobes cérébraux ont une spécialisation différente	115
Certains messagers chimiques extracellulaires ouvrent des canaux qui dépendent d'eux	93	Les lobes pariétaux traitent les informations sensorielles	115
De nombreux messagers chimiques extracellulaires activent la voie des seconds messagers via des récepteurs couplés à une protéine G	93	Le cortex moteur primaire est situé dans les lobes frontaux et contrôle les muscles squelettiques	116
<b>Principes de la communication hormonale</b>	94	Outre l'aire motrice primaire d'autres régions du cortex sont importantes pour le contrôle du mouvement	117
Les hormones sont soit hydrophiles soit lipophiles	94	Il y a plusieurs composantes distinctes du langage contrôlées par différentes régions du cortex	119
Les modalités de synthèse, de stockage et de sécrétion des hormones diffèrent selon leurs propriétés chimiques	94	Les aires associatives du cortex interviennent dans de nombreuses fonctions supérieures	120
Les hormones hydrosolubles sont transportées en solution dans le plasma tandis que les hormones liposolubles le sont par des protéines plasmatiques	96	Il y a un certain degré de spécialisation des hémisphères cérébraux	121
L'effet des hormones est, en règle générale, dû à la modification de l'activité de protéines intracellulaires	96	L'électroencéphalogramme est l'enregistrement de l'activité post-synaptique des neurones corticaux	121
Les hormones hydrophiles modifient des protéines préexistantes par l'intermédiaire du système du second messager	96	<b>Noyaux de base, thalamus et hypothalamus</b>	122
Les hormones lipophiles stimulent la synthèse de protéines en activant des gènes	99	Les noyaux gris centraux ont un rôle inhibiteur dans le contrôle de la motricité	122
<b>Comparaison des systèmes nerveux et endocrine</b>	100	Le thalamus est un relais sensoriel et est important dans le contrôle de la motricité	123
Le système nerveux est « câblé » et le système endocrine est « sans fil »	100	L'hypothalamus est un organe régulateur de beaucoup de fonctions homéostatiques	123
La spécificité nerveuse est due à la proximité anatomique et la spécificité endocrine est due à la spécialisation des récepteurs	101	<b>Émotion, comportement et motivation</b>	124
Les systèmes nerveux et endocrine ont leur propre domaine d'action mais aussi des interactions fonctionnelles	101	Le système limbique a un rôle-clé dans les émotions et le comportement	124
<b>5 Système nerveux central</b>	107	Le système limbique et le cortex contribuent au contrôle des comportements élémentaires	124
<b>Organisation et cellules du système nerveux</b>	107	Les comportements motivés ont un but	125
Le système nerveux est organisé en système nerveux central et système nerveux périphérique	107	La noradrénaline, la dopamine et la sérotonine interviennent comme neurotransmetteurs dans les voies des comportements et des émotions	125
		<b>L'apprentissage et la mémoire</b>	125
		L'apprentissage est l'acquisition de connaissances et est le fruit de l'expérience	126
		La mémoire est acquise par étapes	126
		Les mécanismes moléculaires de la mémoire à long terme et de la mémoire à court terme sont différents	127
		Il y a des traces mnésiques (en grammes) dans de nombreuses régions du cerveau	127

<b>Le cervelet</b>	128
Le cervelet est important pour l'équilibre et pour la planification et l'exécution du mouvement volontaire	128
<b>Tronc cérébral</b>	130
Le tronc cérébral est un lien vital entre les centres nerveux supérieurs et la moelle épinière	130
Le sommeil est un processus actif fait d'alternances de sommeil à ondes lentes et de sommeil paradoxal	130
Le cycle veille-sommeil dépend probablement d'interactions de trois ensembles nerveux	132
Le rôle du sommeil n'est pas clair	132
<b>Moelle épinière</b>	132
La moelle épinière est située dans le canal rachidien et les nerfs rachidiens en sortent	132
La matière blanche de la moelle épinière est organisée en faisceaux	132
Les nerfs rachidiens contiennent des fibres afférentes et efférentes	133
La moelle épinière est le siège de l'intégration de nombreux réflexes élémentaires	133

## 6 Système nerveux périphérique: voies afférentes, sens spéciaux

<b>Physiologie des récepteurs</b>	141
La sensibilité des récepteurs n'est pas la même selon les stimuli	141
La modification de perméabilité de l'extrémité périphérique des neurones afférents donne naissance à un potentiel récepteur graduel	142
Le potentiel récepteur peut déclencher le potentiel d'action du neurone afférent	142
Un récepteur peut s'adapter vite ou lentement à un stimulus persistant	143
Les signaux afférents d'origine viscérale sont inconscients alors que ceux d'origine sensorielle sont conscients	143
Chaque voie somatosensorielle est affectée à la modalité et au siège d'un stimulus	144
L'acuité dépend de la taille du champ récepteur	144
La perception est la prise de conscience de l'environnement fondée sur l'interprétation des entrées sensorielles	144
<b>La douleur</b>	145
La stimulation des nocicepteurs cause la perception douloureuse ainsi que des réponses émotionnelles et comportementales	145
Il y a dans le SNC un système intrinsèque d'analgésie	146
<b>Œil: vision</b>	146
L'œil est une sphère pleine de liquide enveloppée dans trois couches de tissus spécialisés	146

La quantité de lumière qui entre dans l'œil est contrôlée par l'iris	147
La lumière entrante est réfractée par le cristallin et l'image est focalisée sur la rétine	148
La force du cristallin augmente grâce à l'accommodation pour la vision rapprochée	150
Il faut que la lumière traverse plusieurs couches de la rétine avant d'atteindre les photorécepteurs	152
La phototransduction par les cellules de la rétine convertit la lumière en signaux électriques	152
Avec les bâtonnets on voit tout en gris la nuit, avec les cônes la vision est précise et en couleur le jour	157
La vision des couleurs dépend de la stimulation des trois types de cônes	157
La sensibilité de la vision varie beaucoup grâce à l'adaptation à la lumière et à l'obscurité	158
Les informations visuelles suivent des voies séparées avant d'être intégrées dans le cortex visuel et perçues	158
Le message visuel est élaboré dans le thalamus et le cortex visuel	159
Les informations visuelles gagnent des régions du cerveau qui ne participent pas à la vision	161
<b>Oreille: audition et équilibre</b>	161
Les ondes sonores sont faites de l'alternance de régions de compression et de raréfaction des molécules d'air	161
L'oreille externe joue un rôle dans la localisation d'un son	163
La membrane tympanique vibre à l'unisson des ondes sonores de l'oreille externe	163
Les osselets de l'oreille moyenne transforment les vibrations du tympan en déplacements des liquides de l'oreille interne	164
La cochlée contient l'organe de Corti qui est l'organe sensoriel de l'audition	165
Les cellules sensorielles ciliées de l'organe de Corti transforment les mouvements du liquide en signaux nerveux	165
La discrimination des tons dépend de la région de la membrane basilaire qui vibre	165
La discrimination de l'intensité dépend de l'amplitude des vibrations	167
La surdité est due à un défaut de conduction ou du traitement nerveux des ondes sonores	168
L'appareil vestibulaire est important pour l'équilibre grâce à la détection de la position et des mouvements de la tête	168
<b>Sens chimiques: goût et odorat</b>	171
Les cellules réceptrices du goût sont surtout situées dans les bourgeons du goût de la langue	171
La discrimination gustative est codée par la carte d'activation des différents bourgeons du goût	173
Les récepteurs olfactifs du nez sont des terminaisons spécialisées de neurones afférents renouvelables	173
Les différents composants d'une odeur sont détectés par des récepteurs olfactifs distincts et rangés dans des «classeurs» distincts	173

La discrimination des odeurs est codée par la carte d'activité des glomérules des bulbes olfactifs	175
Le système olfactif s'adapte rapidement	175

## 7 Système nerveux périphérique: voies efférentes 179

### Système nerveux autonome 179

Une voie efférente du système nerveux autonome comporte deux neurones en série	179
Les fibres postganglionnaires du parasympathique libèrent de l'acétylcholine, celles du sympathique de la noradrénaline	180
Les systèmes nerveux sympathique et parasympathique innervent conjointement de nombreux organes viscéraux	180
La médullosurrénale est une partie différenciée du système sympathique	184
À chaque neurotransmetteur du système nerveux autonome correspondent plusieurs types de récepteurs	184
L'activité du système nerveux autonome dépend de nombreuses régions du système nerveux central	185

### Système nerveux somatique 185

Les motoneurones innervent les muscles squelettiques	185
Les motoneurones sont influencés par de nombreuses zones du cerveau impliquées dans le contrôle moteur	185

### Jonction neuromusculaire 186

Il y a une liaison chimique entre le motoneurone et les cellules du muscle squelettique dans la jonction neuromusculaire	186
L'acétylcholine est le neurotransmetteur de la jonction neuromusculaire	186
L'acétylcholinestérase met fin à l'action de l'acétylcholine dans la jonction neuromusculaire	188
La jonction neuromusculaire est vulnérable à certains agents chimiques et à certaines maladies	189

## 8 Physiologie musculaire 195

### Structure du muscle squelettique 195

L'organisation interne des fibres du muscle squelettique est responsable de la striation	195
Les filaments épais sont faits de myosine	196
L'actine est le principal composant structural des filaments fins	196

### Bases moléculaires de la contraction du muscle squelettique 198

La liaison et la flexion cycliques des ponts d'union attirent les filaments fins les uns vers les autres	198
--	-----

Le calcium fait le lien entre l'excitation et la contraction	199
L'activité contractile dure beaucoup plus longtemps que l'activité électrique qui l'a déclenchée	204

### Mécanique du muscle squelettique 204

Les muscles sont faits d'ensembles de fibres musculaires réunies en faisceaux par du tissu conjonctif et attachées au squelette par des tendons	205
La force est transmise aux os par l'élément élastique en série mis sous tension par l'élément contractile	205
Il y a deux modes de contraction: isotonique et isométrique	205
La vitesse de raccourcissement est fonction de la charge	206
La force de contraction d'un muscle est variable	206
Le nombre de fibres d'un muscle qui se contractent dépend du nombre d'unités motrices recrutées	206
La fréquence de stimulation influence la force produite par chaque fibre musculaire	207
La sommation des secousses est due à l'augmentation durable du calcium dans le cytosol	207
Il y a une longueur optimale du muscle à partir de laquelle la contraction produit une force maximale	209

### Types de fibres et métabolisme du muscle squelettique 210

Il y a différents modes de production d'ATP dans les fibres musculaires	210
La consommation d'oxygène est nécessairement accrue pendant la récupération de l'exercice	211
Il y a trois variétés de fibres musculaires en fonction de différences dans la production et l'hydrolyse de l'ATP	211
Les fibres musculaires s'adaptent en réponse aux demandes auxquelles elles sont soumises	212

### Contrôle de la motricité 214

L'activité des motoneurones est soumise à de multiples influences	214
Les récepteurs musculaires fournissent des informations afférentes essentielles pour le contrôle de l'activité des muscles squelettiques	215

### Muscles lisse et cardiaque 217

Les cellules des muscles lisses ne sont pas striées et sont de petite taille	218
Les cellules musculaires lisses sont stimulées par la phosphorylation de la myosine dépendante du $Ca^{2+}$	220
L'activation du muscle lisse multi-unitaire est neurogène	221
Les cellules du muscle unitaire forment des syncytiums fonctionnels	221
La contraction du muscle lisse unitaire est myogène	222
La gradation de la contraction du muscle lisse unitaire n'a rien de commun avec celle du muscle squelettique	222
Un muscle lisse peut produire de la force quand il est étiré	224
Le muscle lisse est lent et économique	224
Les propriétés du muscle cardiaque sont un mélange de celles du muscle squelettique et du muscle lisse	225

## 9 Physiologie cardiaque 229

### Anatomie du cœur 229

Le cœur se trouve au centre de la cavité thoracique 229

Le cœur est une pompe à deux corps 230

Grâce aux valves cardiaques, l'écoulement du sang dans le cœur se fait dans le bon sens 232

Les parois cardiaques sont avant tout composées de fibres du muscle cardiaque 232

Les cellules du myocarde sont reliées par des disques intercalaires et forment des syncytiums fonctionnels 233

### Activité électrique du cœur 234

Les cellules autorythmiques ont une activité de «pacemaker» 234

Le nœud sinusal est le pacemaker normal du cœur 235

La propagation harmonieuse de l'excitation cardiaque assure un pompage efficace 236

Le potentiel d'action des cellules contractiles du cœur a un plateau caractéristique 238

L'entrée de  $Ca^{2+}$  venant du LEC cause la libération supplémentaire de  $Ca^{2+}$  par le réticulum sarcoplasmique 238

La longue période réfractaire rend impossible le téтанos du cœur 239

L'électrocardiogramme (ECG) est l'enregistrement de l'activité électrique de l'ensemble du cœur 240

Les différentes parties de l'ECG correspondent à des événements cardiaques particuliers 240

L'ECG est utile pour diagnostiquer les anomalies du rythme cardiaque, ou arythmies, et les lésions du muscle cardiaque 243

### Événements mécaniques du cycle cardiaque 243

Il y a alternance de contraction avec vidange des ventricules et de relâchement avec remplissage de ceux-ci 243

Pendant le cycle cardiaque, on peut entendre deux bruits du cœur correspondant à la fermeture des valves 246

L'écoulement turbulent est cause de souffles cardiaques 246

### Débit cardiaque et son contrôle 247

Le débit cardiaque dépend de la fréquence cardiaque et du volume systolique 247

La fréquence cardiaque est essentiellement influencée par l'action du système nerveux autonome sur le nœud sinusal 247

Le volume systolique est déterminé par le retour veineux et l'activité sympathique 249

L'augmentation du volume télédiastolique entraîne celle du volume systolique 249

La stimulation sympathique augmente la contractilité du cœur 250

La contractilité du cœur est réduite dans l'insuffisance cardiaque 251

### Nutrition du cœur 252

Le cœur reçoit par la circulation coronaire durant la diastole l'essentiel du sang qui lui est nécessaire 253

L'athérome des artères coronaires peut priver le cœur de l' $O_2$  indispensable 253

## 10 Vaisseaux sanguins et pression artérielle 261

### Fonctionnement et physique du flux sanguin 261

Les organes de maintenance et d'entretien du sang reçoivent

du sang en excès par rapport à leur besoin ce qui est lié à leur rôle dans l'homéostasie 261

Le débit de sang dans les vaisseaux dépend de la différence de pression et de la résistance vasculaire 262

Un réseau vasculaire comporte les artères, les artérioles, les capillaires, les veinules et les veines 264

### Artères 264

Les artères sont une voie d'écoulement rapide du sang vers les tissus et un réservoir de pression 264

La fluctuation cyclique de la pression artérielle est en relation avec la systole et la diastole ventriculaires 266

On peut mesurer indirectement la pression artérielle avec un sphygmomanomètre 267

La principale force motrice responsable de l'écoulement est la pression artérielle moyenne 269

### Artérioles 269

Les artérioles sont les principaux vaisseaux résistifs 269

Le contrôle local du rayon artériolaire est essentiel pour la répartition du débit cardiaque 270

Les facteurs métaboliques locaux agissant sur le muscle lisse artériolaire sont importants pour l'ajustement du débit aux besoins des tissus 271

La libération locale d'histamine cause la dilatation pathologique des artérioles 272

La réponse myogénique des artérioles à l'étirement aide les tissus à autoréguler leur débit sanguin 272

Application locale de chaud ou de froid 273

Le contrôle sympathique extrinsèque du rayon des artérioles est important pour la régulation de la pression artérielle 273

Les centres cardiovasculaires du bulbe et plusieurs hormones règlent la pression artérielle 274

### Capillaires 274

Les capillaires sont idéalement constitués pour servir de site d'échange 274

Les pores de la paroi capillaire laissent passer des substances hydrosolubles de petite taille 276

Le liquide interstitiel est un intermédiaire passif entre le sang et les tissus 277

La diffusion à travers la paroi des capillaires est importante pour les échanges de substances dissoutes	277	L'hémostase s'oppose à la perte de sang consécutive à la lésion de petits vaisseaux	304
Le passage de liquide à travers la paroi capillaire est important pour la répartition du liquide extracellulaire	278	Le spasme vasculaire réduit l'écoulement de sang dans le vaisseau lésé	305
Le système lymphatique est une voie parallèle pour le retour du liquide interstitiel vers le sang	280	L'agrégation des plaquettes bouche la brèche vasculaire	305
Il y a œdème quand il y a accumulation excessive de liquide interstitiel	282	La formation du caillot est la conséquence du déclenchement d'une séquence de réactions mettant en jeu les facteurs de coagulation plasmatiques	306
<b>Veines</b>	283	La fibrinolyse par la plasmine dissout le caillot	308
Les veines sont à la fois des réservoirs de sang et la voie de passage du sang retournant au cœur	283	La maladie thromboembolique est due à la formation inappropriée de caillots	308
Le retour veineux est influencé par plusieurs facteurs extrinsèques	284	L'hémophilie est la principale cause de saignement pathologique	309
<b>Pression artérielle</b>	288	<b>Leucocytes</b>	309
La régulation de la pression artérielle est assurée par les ajustements du débit cardiaque, de la résistance vasculaire systémique et du volume sanguin	288	Le rôle principal des leucocytes est de défendre l'organisme hors du compartiment vasculaire	309
L'arc réflexe des barorécepteurs est le mécanisme essentiel de la régulation à court terme de la pression artérielle	289	Les bactéries et les virus pathogènes sont les principales cibles du système immunitaire	309
L'hypertension artérielle est un problème de santé publique important dont les causes sont mal connues	290	Il y a cinq classes de leucocytes	310
La syncope de l'hypotension orthostatique est due à l'insuffisance transitoire de l'activité du sympathique	292	La production de leucocytes varie en fonction des besoins de la défense de l'organisme	311
Le choc circulatoire peut être irréversible	292	Les réponses immunitaires sont naturelles et non spécifiques ou acquises et spécifiques	312
		<b>Immunité naturelle</b>	313
		L'inflammation est une réponse non spécifique à un agresseur étranger ou à une lésion tissulaire	313
		L'inflammation est l'agent causal sous-jacent de nombreuses maladies chroniques	317
		Les médicaments anti-inflammatoires non stéroïdiens et les glucocorticoïdes s'opposent à la réponse inflammatoire	317
		L'interféron inhibe passagèrement la multiplication des virus dans la plupart des cellules	317
		Les cellules tueuses naturelles détruisent les cellules cancéreuses et les cellules infectées par un virus dès leur première rencontre	317
		Le système du complément perfore la membrane des micro-organismes	318
		<b>Immunité spécifique: généralités</b>	319
		Les réponses immunitaires spécifiques comportent l'immunité par anticorps et l'immunité cellulaire	319
		Un antigène provoque une réponse immunitaire dirigée contre lui-même	320
		<b>Lymphocytes B et immunité humorale</b>	320
		Les antigènes stimulent la conversion des lymphocytes B en plasmocytes producteurs d'anticorps	320
		Les anticorps ont la forme d'un Y et sont classés en fonction des propriétés de leur tige	321
		Les anticorps amplifient fortement les réponses immunologiques innées pour faciliter la destruction des antigènes	321
		La sélection clonale rend compte de la spécificité de la production d'anticorps	323
		Un clone donné donne naissance à des plasmocytes actifs et à des cellules à mémoire dormantes	324

## 11 Le sang et les défenses de l'organisme

<b>Plasma</b>	297
L'hématocrite représente le volume occupé par les cellules sanguines; le plasma représente le reste du volume sanguin	297
L'eau du plasma est le moyen de transport de nombreuses substances organiques et inorganiques	297
Les protéines plasmatiques remplissent de nombreuses fonctions	298
<b>Érythrocytes</b>	299
La structure des érythrocytes est bien adaptée à leur fonction principale, à savoir, le transport d'O <sub>2</sub> dans le sang	299
La moelle osseuse remplace continuellement les érythrocytes usés	300
L'érythropoïétine rénale contrôle l'érythropoïèse	300
L'anémie peut être due à diverses affections	301
La polycythémie est l'excès de globules rouges circulants	302
Les types sanguins dépendent d'antigènes de surface présents sur les érythrocytes	302
<b>Plaquettes et hémostase</b>	304
Les plaquettes sont des fragments cellulaires provenant des mégacaryocytes	304

<b>Lymphocytes T: immunité cellulaire</b>	325
Les lymphocytes T se fixent sans intermédiaire à leurs cibles	325
Les trois types de cellules T sont les lymphocytes cytotoxiques et auxiliaires	326
Les lymphocytes T cytotoxiques sécrètent des substances chimiques qui détruisent les cellules-cibles	326
Les lymphocytes T auxiliaires sécrètent des substances chimiques qui amplifient l'activité d'autres cellules immunitaires	328
Les lymphocytes T ne réagissent qu'aux antigènes qui leur sont présentés par les cellules présentatrices d'antigène	329
Les gènes du complexe majeur d'histocompatibilité codent les antigènes du soi	329
Normalement, le système immunitaire tolère les antigènes du soi	331
La surveillance immunitaire contre les cellules cancéreuses repose sur les interactions de cellules immunitaires et de l'interféron	332
<b>Maladies immunitaires</b>	334
La déficience immunitaire est caractérisée par la faiblesse de la réponse immunitaire	334
Les allergies sont la conséquence de réactions immunitaires inappropriées contre des substances anodines de l'environnement	334
<b>Défenses externes</b>	338
La peau comporte l'épiderme externe et protecteur, et le derme interne fait de tissu conjonctif	338
Différentes cellules spécialisées de la peau produisent la kératine et la mélanine et participent à la défense immunitaire	339
Les organes creux disposent de mécanismes protecteurs contre les agents pathogènes	340

## 12 Appareil respiratoire 345

<b>Le système respiratoire</b>	345
L'appareil respiratoire n'intervient pas à toutes les étapes de la respiration	345
Le passage de l'air entre les alvéoles et l'atmosphère se fait par les voies aériennes	346
Les alvéoles, qui sont le siège des échanges gazeux, sont de petites cavités gonflables à paroi mince, contenant du gaz et entourées par les capillaires pulmonaires	347
Les poumons occupent une grande partie de la cavité thoracique	348
Le sac pleural sépare chaque poumon de la paroi thoracique	349
<b>Mécanique respiratoire</b>	349
Les relations entre la pression à l'intérieur et à l'extérieur des poumons sont importantes pour la ventilation	349
Les poumons et la cage thoracique sont étroitement accolés sous l'action de la pression transmurale	350

Les variations cycliques de la pression alvéolaire causent l'écoulement de l'air entrant et sortant dans les poumons	351
La résistance des voies aériennes est l'un des facteurs du débit gazeux	353
La résistance des voies aériennes est anormalement grande dans les bronchopneumopathies chroniques obstructives	355
L'élasticité des poumons est due aux fibres élastiques du tissu conjonctif et à la tension de surface des alvéoles	357
Le surfactant pulmonaire réduit la tension de surface et contribue à la stabilité des poumons	357
Les poumons opèrent normalement à mi-volume	358
La ventilation alvéolaire est moindre que la ventilation pulmonaire à cause de l'espace mort	359

<b>Échanges gazeux pulmonaires</b>	362
Les mouvements de gaz sont dus à la différence des pressions partielles	362
Dans les poumons, l'O <sub>2</sub> gagne le sang et le CO <sub>2</sub> le quitte passivement sous l'effet de la différence de pression partielle	362
D'autres facteurs que la pression partielle jouent un rôle dans la vitesse des échanges gazeux	363
Les échanges gazeux à travers la paroi des capillaires systémiques sont également dus aux différences de pressions partielles	364

<b>Transport des gaz</b>	365
L'essentiel de l'O <sub>2</sub> contenu dans le sang est transporté par l'hémoglobine	365
La P <sub>O<sub>2</sub></sub> est le principal facteur de la saturation de l'hémoglobine	366
L'hémoglobine facilite l'échange d'O <sub>2</sub> aussi bien dans les alvéoles que dans les tissus	367
Dans les tissus différents facteurs facilitent la libération d'O <sub>2</sub> par l'hémoglobine	368
L'hémoglobine a une affinité beaucoup plus forte pour le monoxyde de carbone que pour l'O <sub>2</sub>	369
L'essentiel du CO <sub>2</sub> est transporté dans le sang sous forme de bicarbonate	370
Différentes situations sont caractérisées par des anomalies des échanges gazeux	371

<b>Contrôle de la respiration</b>	372
Les centres respiratoires du tronc cérébral donnent naissance au rythme respiratoire	372
La ventilation est ajustée aux besoins en réponse à trois facteurs chimiques: P <sub>O<sub>2</sub></sub> , P <sub>CO<sub>2</sub></sub> et pH	374
La baisse de la P <sub>O<sub>2</sub></sub> artérielle est un mécanisme d'urgence d'augmentation de la ventilation	375
Les ions H <sup>+</sup> formés dans le cerveau à partir du CO <sub>2</sub> sont le principal régulateur de la ventilation	376
L'ajustement de la ventilation en réponse aux variations d'H <sup>+</sup> artériel est important pour l'équilibre acido-basique	376
Pendant l'apnée, il y a «oubli de respirer», en cas de dyspnée on ressent le «manque de souffle»	377

## 13 Appareil urinaire

### Les reins: fonctions, anatomie et mécanismes de base

Diverses fonctions rénales contribuent à l'homéostasie 381

Les reins produisent l'urine; le reste de l'appareil urinaire conduit l'urine à l'extérieur 382

Le néphron est l'unité fonctionnelle du rein 382

Les trois processus rénaux de base sont la filtration glomérulaire, la réabsorption et la sécrétion tubulaires 384

### Filtration glomérulaire 386

La pression du sang dans les capillaires glomérulaires est la principale force responsable de la filtration 387

Les modifications du DFG sont essentiellement dues aux variations de la pression dans les capillaires glomérulaires 388

Les reins reçoivent normalement 20 à 25 % du débit cardiaque 389

### Réabsorption tubulaire 390

La réabsorption tubulaire est considérable, très sélective et variable 390

La réabsorption tubulaire est le fait de transports épithéliaux 390

La pompe active  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  de la membrane basolatérale est essentielle pour la réabsorption de  $\text{Na}^+$  391

L'aldostérone stimule la réabsorption de  $\text{Na}^+$  dans le tubule distal et le tube collecteur 392

Le peptide natriurétique auriculaire inhibe la réabsorption de  $\text{Na}^+$  394

Le glucose et les acides aminés sont réabsorbés par un transport actif secondaire dépendant de  $\text{Na}^+$  395

En général il y a un maximum à la réabsorption active de substances par le tubule 395

Le glucose est l'exemple d'une substance dont la réabsorption active par les reins n'assure pas la régulation 395

Le phosphate est l'exemple d'une substance dont la réabsorption active par les reins assure la régulation 396

La réabsorption active de  $\text{Na}^+$  est responsable de la réabsorption passive de  $\text{Cl}^-$ , d' $\text{H}_2\text{O}$  et d'urée 397

En règle générale, les produits de déchets ne sont pas réabsorbés 398

### Sécrétion tubulaire 398

La sécrétion de l'ion hydrogène est importante pour l'équilibre acido-basique 398

La sécrétion de potassium est contrôlée par l'aldostérone 398

La sécrétion d'anions et de cations organiques contribue efficacement à l'élimination hors de l'organisme de substances étrangères 399

### Excrétion de l'urine et clairance plasmatique 400

La clairance plasmatique est le volume de plasma débarrassé d'une substance particulière par minute 401

La clairance plasmatique d'une substance qui est filtrée et n'est ni réabsorbée ni sécrétée est égale au DFG 401

La clairance plasmatique d'une substance qui est filtrée et réabsorbée mais n'est pas sécrétée est toujours inférieure au DFG 401

La clairance plasmatique d'une substance qui est filtrée et sécrétée mais qui n'est pas réabsorbée est toujours supérieure au DFG 401

La concentration de l'urine excrétée par les reins dépend du degré d'hydratation de l'organisme 403

Le gradient osmotique médullaire est établi par le mécanisme du contre-courant 404

C'est dans les segments terminaux du néphron qu'a lieu la réabsorption ajustable d' $\text{H}_2\text{O}$  dépendant de l'hormone antidiurétique 405

L'insuffisance rénale a des conséquences de portée étendue 410

L'urine est stockée temporairement dans la vessie d'où elle est évacuée au cours de la miction 410

## 14 Équilibre hydrique et acido-basique

### Le concept d'équilibre 417

Le pool interne d'une substance est la quantité de celle-ci dans le LEC 417

Pour qu'une substance soit en équilibre dans le LEC il faut que les entrées soient égales aux sorties 417

### Équilibre de l'eau 418

L'eau est répartie entre les compartiments liquidiens intra- et extracellulaire 418

La composition du plasma et du liquide interstitiel est similaire mais le LEC et le LIC sont très différents 418

L'équilibre hydrique est maintenu grâce à la régulation du volume et de l'osmolarité du LEC 419

Le contrôle du volume du LEC est important pour la régulation à long terme de la pression artérielle 419

Le contrôle du bilan du sel est primordial pour la régulation du volume du LEC 420

La régulation de l'osmolarité du LEC s'oppose aux variations de volume du LIC 421

En cas d'hypertonie du LEC les cellules perdent de l'eau et rétrécissent 423

En cas d'hypotonie du LEC les cellules gagnent de l'eau et gonflent 423

Il n'y a aucun mouvement transmembranaire d'eau lors d'un gain ou d'une perte de liquide extracellulaire isotonique 424

Le contrôle du bilan de l'eau par l'hormone antidiurétique est primordial pour la régulation de l'osmolarité du LEC 424

La sécrétion d'hormone antidiurétique et la soif sont déclenchées pratiquement au même moment 425

### Équilibre acido-basique 426

Les acides libèrent des ions hydrogène libres alors que les bases les acceptent 426

Le pH est utilisé pour exprimer la concentration en ions hydrogène [H <sup>+</sup> ]	427
Les variations de [H <sup>+</sup> ] perturbent l'activité des nerfs, des enzymes et de K <sup>+</sup>	428
Du fait de l'activité métabolique, il y a addition continue d'ions H <sup>+</sup> aux liquides de l'organisme	428
Les systèmes-tampons-chimiques minimisent les variations de concentration du pH en captant ou en libérant des H <sup>+</sup> libres	430
Les systèmes-tampons sont la première ligne de défense contre les variations de [H <sup>+</sup> ]	431
L'appareil respiratoire règle [H <sup>+</sup> ] en contrôlant l'élimination de CO <sub>2</sub>	431
L'appareil respiratoire est la seconde ligne de défense contre les variations de [H <sup>+</sup> ]	431
Les reins contribuent à l'équilibre acido-basique en agissant sur l'excrétion de H <sup>+</sup> et de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> et sur la sécrétion de NH <sub>3</sub>	432
Les reins sont la puissante troisième ligne de défense contre les variations de [H <sup>+</sup> ]	433
Les déséquilibres acido-basiques peuvent être dus à des perturbations respiratoires ou métaboliques	433

## 15 Appareil digestif 437

### La digestion: aspects généraux 437

L'appareil digestif remplit quatre fonctions primordiales	437
L'appareil digestif est constitué par le tube digestif et par les organes digestifs accessoires	438
La paroi du tube digestif comporte quatre couches	439
Le fonctionnement de l'appareil digestif dépend de facteurs complexes et synergiques	439
L'activation des récepteurs modifie l'activité digestive par l'intermédiaire de réflexes nerveux ou d'hormones	442

### Bouche 443

La cavité buccale est l'entrée du tube digestif	443
Les dents sont des broyeurs	443
La salive commence la digestion des glucides, est importante pour l'hygiène buccale et facilite la parole	444
La sécrétion de salive est continue et peut augmenter de façon réflexe	444
Dans la bouche, la digestion est minime et il n'y a pas d'absorption de nutriments	444

### Pharynx et œsophage 445

La déglutition se déroule selon un réflexe programmé du type tout-ou-rien	445
Durant l'étape oropharyngée de la déglutition, la prévention des fausses routes des aliments est assurée	445
Le sphincter supérieur de l'œsophage prévient l'entrée d'air dans le tube digestif pendant la respiration	446
Le péristaltisme fait progresser le bol alimentaire dans l'œsophage	446

Le sphincter œsophagien inférieur prévient le reflux du contenu de l'estomac	447
La sécrétion œsophagienne a uniquement un rôle protecteur	447

### Estomac 447

L'estomac stocke les aliments et commence la digestion des protéines	447
La relaxation est nécessaire au remplissage de l'estomac	448
Le stockage a lieu dans le corps	448
Le brassage des aliments a lieu dans l'antrum de l'estomac	448
L'évacuation de l'estomac dépend essentiellement de facteurs duodénaux	448
Les émotions retiennent sur la motilité de l'estomac	449
L'estomac n'a pas de part active dans le vomissement	449
Le suc gastrique est sécrété par les glandes situées dans les cryptes de l'estomac	450
L'acide chlorhydrique active le pepsinogène	450
Une fois activé le pepsinogène commence la digestion des protéines	452
Le mucus a un rôle protecteur	452
Le facteur intrinsèque est indispensable pour l'absorption de la vitamine B <sub>12</sub>	452
De multiples voies régulatrices influencent les cellules principales et pariétales	452
Le contrôle de la sécrétion gastrique comporte trois étapes	453
La sécrétion gastrique diminue au fur et à mesure que l'estomac s'évacue dans le duodénum	453
La barrière muqueuse protège la paroi de l'estomac contre les sécrétions gastriques	454
La digestion des glucides se poursuit dans le corps de l'estomac, celle des protéines commence dans l'antrum	455
L'estomac n'absorbe pas de nutriments mais absorbe l'alcool et l'aspirine	455

### Sécrétions biliaire et pancréatique 455

Le pancréas est un organe mixte exocrine et endocrine	457
Le pancréas exocrine sécrète des enzymes digestifs et une solution aqueuse alcaline	457
La sécrétion exocrine du pancréas est sous la dépendance de la sécrétine et de CCK	458
Le foie a beaucoup de fonctions importantes dont la sécrétion de bile	458
La bile est sécrétée continuellement et détournée vers la vésicule biliaire entre les repas	460
Les sels biliaires sont recyclés grâce à la circulation entéro-hépatique	460
Les sels biliaires facilitent la digestion et l'absorption des lipides	461
Les sels biliaires sont le principal stimulus de la sécrétion biliaire	462
La bilirubine, qui est un produit de déchet, est excrétée dans la bile	462

<b>Intestin grêle</b>	463
Les contractions segmentaires brassent et propulsent lentement le chyme	463
Le complexe moteur migrant parcourt et nettoie l'intestin grêle entre les repas	464
La jonction iléo-cæcale empêche la contamination de l'intestin grêle par les bactéries du côlon	465
La sécrétion de l'intestin grêle ne contient pas d'enzymes digestifs	465
La digestion est achevée dans les cellules par les enzymes de l'intestin grêle	465
L'intestin grêle est remarquablement adapté à son rôle primordial dans l'absorption	466
La muqueuse intestinale se renouvelle rapidement	468
L'absorption de Na <sup>+</sup> par un transport actif entraîne l'absorption passive d'eau	468
Les glucides et les protéines digérés sont tous deux absorbés via un transport actif secondaire pour gagner le sang	469
Les lipides digérés sont absorbés passivement et passent dans la lymphe	469
L'absorption des vitamines est essentiellement passive	471
L'absorption du fer et du calcium est régulée	471
La plupart des nutriments absorbés gagnent immédiatement le foie où ils sont pris en charge	471
L'importance de l'absorption dans l'intestin grêle est adaptée à celle des sécrétions digestives	471
La diarrhée cause la perte d'eau et d'électrolytes	471
<b>Gros intestin</b>	472
Le gros intestin est essentiellement un lieu de dessèchement et de stockage	472
Les contractions haustrale déplacent lentement d'avant en arrière le contenu du côlon	472
Les mouvements de masse propulsent le contenu du colon sur de grandes distances	472
Les fèces sont éliminées grâce au réflexe de défécation	472
Le dessèchement excessif des selles est cause de constipation	473
La sécrétion du gros intestin a uniquement un rôle protecteur	473
Le côlon contient des myriades de bactéries bénéfiques	473
Le gros intestin absorbe du sel et de l'eau transformant ainsi son contenu en fèces	473
Les gaz intestinaux sont absorbés ou expulsés	474
<b>Survol des hormones digestives</b>	474

## 16 Équilibre énergétique et régulation de la température

<b>Équilibre énergétique</b>	479
La plupart de l'énergie fournie par les aliments est finalement convertie en chaleur dans l'organisme	479

L'intensité du métabolisme reflète la consommation d'énergie	480
Pour qu'il y ait équilibre énergétique, il faut que l'apport et la consommation d'énergie soient égaux	481
La prise d'aliments est contrôlée essentiellement par l'hypothalamus	482
L'obésité se produit quand l'apport d'énergie est supérieur à sa consommation	485
Les sujets souffrant d'anorexie nerveuse ont une peur pathologique de prendre du poids	486
<b>Régulation de la température</b>	486
La température du noyau central est maintenue par des mécanismes homéostatiques à 37 °C	486
Il faut que les gains et les pertes de chaleur soient égaux pour que la température du noyau central reste stable	487
Les échanges de chaleur entre l'organisme et l'environnement se font par radiation, convection, convection et évaporation	487
La transpiration est un mécanisme régulé de perte de chaleur par évaporation	488
Il y a intégration d'une multitude d'informations sur la température dans l'hypothalamus	489
Le frisson est le principal moyen involontaire pour augmenter la production de chaleur	489
L'importance de la perte de chaleur varie en fonction du débit de sang dans la peau	489
L'hypothalamus coordonne simultanément les mécanismes de production, de conservation et de perte de chaleur	490
En cas de fièvre, le niveau de consigne du thermostat hypothalamique est décalé vers une plus haute température	491

## 17 Système endocrine

<b>Principes généraux d'endocrinologie</b>	495
Les hormones ont une multitude d'effets régulateurs dans l'organisme	495
La concentration d'hormone active dans le plasma dépend normalement de la quantité sécrétée	496
La concentration d'une hormone dépend aussi de la quantité excrétée	497
Les troubles endocrines sont liés à l'excès ou au manque d'hormone ou à l'insuffisance de la réponse des organes-cibles	498
La réponse à l'hormone des cellules-cibles peut être modifiée par les ajustements du nombre des récepteurs spécifiques	498
<b>Hypothalamus et hypophyse</b>	498
L'hypophyse comporte un lobe antérieur et un lobe postérieur	499
L'hypothalamus et l'hypophyse postérieure fonctionnent de façon synergique pour sécréter l'hormone antidiurétique et l'ocytocine	499
La plupart des hormones de l'antéhypophyse ont un rôle trophique	502

Les hormones stimulantes ou inhibitrices de l'hypothalamus contribuent à la sécrétion des hormones antéhypophysaires	503	Les glucocorticoïdes ont des effets métaboliques et ont un rôle important dans la réponse aux situations stressantes	519
Les hormones des glandes-cibles inhibent la sécrétion des hormones hypothalamiques et antéhypophysaires par rétroaction négative	506	La sécrétion de cortisol dépend directement de l'axe hypothalamo-hypophyséocorticosurrénal	520
<b>Contrôle endocrine de la croissance</b>	506	La corticosurrénale sécrète des hormones sexuelles mâles et féminines dans les deux sexes	521
La croissance dépend de l'hormone somatotrope et aussi d'autres facteurs	507	La sécrétion de chacune des hormones de la corticosurrénale peut être excessive ou insuffisante	521
L'hormone somatotrope indispensable à la croissance a, en outre, des effets métaboliques indépendants de celle-ci	507	La médullosurrénale est faite de neurones sympathiques post-ganglionnaires modifiés	522
L'hormone somatotrope exerce indirectement ses effets sur la croissance via la stimulation des somatomédines	507	L'adrénaline agit en renfort du système nerveux sympathique et a des effets métaboliques additionnels	523
L'hormone somatotrope, via les somatomédines, induit la croissance de tissus mous en induisant leur hyperplasie et leur hypertrophie	507	<b>Réponse intégrée aux situations de stress</b>	523
L'hormone somatotrope stimule par différents mécanismes la croissance des os en épaisseur et en longueur	508	Le stress est un ensemble global de réponses à toute situation menaçant l'homéostasie	523
La sécrétion d'hormone somatotrope est contrôlée par deux hormones hypothalamiques	508	Les multiples éléments de la réponse au stress sont coordonnés par l'hypothalamus	525
La sécrétion anormale d'hormone somatotrope entraîne des anomalies de la croissance	510	L'activation chronique des réponses aux situations psychosociales stressantes peut être dangereuse pour la santé	525
<b>Épiphyse et rythmes circadiens</b>	510	<b>Contrôle endocrine du métabolisme énergétique</b>	525
Le noyau suprachiasmatique est l'horloge biologique maîtresse	510	Le métabolisme énergétique comporte l'anabolisme, le catabolisme et la conversion entre elles des molécules énergétiques	525
La mélatonine contribue à maintenir la synchronisation des rythmes circadiens de l'organisme et du cycle lumière-obscurité	511	Comme la prise d'aliments est intermittente, les nutriments doivent être stockés entre les repas	526
<b>Glande thyroïde</b>	513	Le cerveau doit être approvisionné continuellement en glucose	526
Les cellules sécrétant l'hormone thyroïde forment des follicules sphériques contenant une substance colloïde	513	Les nutriments énergétiques sont stockés en période digestive et mobilisés entre les repas	528
L'hormone thyroïde est synthétisée et stockée dans la molécule de thyroglobuline	513	Les hormones du pancréas, insuline et glucagon, sont les principaux facteurs contrôlant le métabolisme énergétique	529
Les cellules folliculaires phagocytent le colloïde chargé de thyroglobuline pour sécréter l'hormone thyroïde	514	L'insuline fait baisser la concentration dans le sang du glucose, des acides aminés et des acides gras et favorise leur stockage	530
La majorité de la T <sub>4</sub> sécrétée est convertie en T <sub>3</sub> ailleurs que dans la thyroïde	515	Le stimulus primordial de la sécrétion d'insuline est l'augmentation de la concentration du glucose dans le sang	531
L'hormone thyroïde est le principal facteur déterminant le métabolisme de base et a aussi d'autres effets	515	Les symptômes du diabète sucré sont l'analogie d'un état postprandial poussé à l'extrême	532
La sécrétion d'hormone thyroïde dépend de l'axe hypothalamo-hypophysaire	515	L'excès d'insuline cause l'hypoglycémie qui « affame » le cerveau	534
Les anomalies de la fonction de la thyroïde comportent l'hypothyroïdie et l'hyperthyroïdie	516	L'action du glucagon est, en général, opposée à celle de l'insuline	535
Un goitre se développe en cas de stimulation excessive de la thyroïde	517	La sécrétion du glucagon augmente en période postprandiale	535
<b>Glandes surrénales</b>	518	L'insuline et le glucagon font équipe pour stabiliser la concentration dans le sang du glucose et des acides gras	535
Chaque glande surrénale comporte la corticosurrénale, sécrétant des stéroïdes et la médullosurrénale, sécrétant des catécholamines	518	L'adrénaline, le cortisol et l'hormone somatotrope ont aussi des effets propres sur le métabolisme	536
La corticosurrénale sécrète des minéralocorticoïdes, des glucocorticoïdes et des hormones sexuelles	518	<b>Contrôle endocrine du métabolisme du calcium</b>	536
Les effets principaux des minéralocorticoïdes concernent le bilan Na <sup>+</sup> et de K <sup>+</sup> et la régulation de la pression artérielle	519	Le Ca <sup>2+</sup> plasmatique doit être réglé avec précision de façon à éviter des modifications de l'excitabilité neuromusculaire	537

L'hormone parathyroïde fait monter la concentration du Ca <sup>2+</sup> libre dans le plasma grâce à son action sur le tissu osseux, les reins et l'intestin	537	Les prostaglandines sont des messagers chimiques ubiquitaires agissant localement	558
L'os est en perpétuel remaniement	537	<b>Rapports hétérosexuels</b>	559
Les contraintes mécaniques favorisent la formation d'os	537	L'acte sexuel masculin a deux composantes, l'érection et l'éjaculation	559
La PTH favorise le transfert des os au plasma	538	L'érection est due à l'engorgement du pénis par du sang	560
La PTH agit sur les reins pour conserver Ca <sup>2+</sup> et éliminer PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	538	L'éjaculation comporte l'émission et l'expulsion du sperme	561
PTH favorise indirectement l'absorption de Ca <sup>2+</sup> et de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> par l'intestin	539	Orgasme et résolution complètent le cycle sexuel	561
Le principal facteur régulateur de la sécrétion de PTH est la concentration du Ca <sup>2+</sup> dans le plasma	539	Volume et contenu du sperme	561
La calcitonine abaisse la concentration de Ca <sup>2+</sup> dans le plasma mais n'a pas de rôle important dans le métabolisme normal du Ca <sup>2+</sup>	539	Au cours d'un rapport sexuel, le cycle de la femme rappelle beaucoup celui de l'homme	561
La vitamine D est une véritable hormone qui stimule l'absorption de Ca <sup>2+</sup> par l'intestin	539	<b>Physiologie de la reproduction chez la femme</b>	562
Les désordres du métabolisme du calcium peuvent être dus au niveau anormal de PTH ou de vitamine D	540	Des phénomènes cycliques complexes sont caractéristiques de la physiologie de la reproduction chez la femme	563
<b>18 Système reproducteur</b>	545	Les étapes de la gamétogenèse sont les mêmes dans les deux sexes mais le déroulement dans le temps et le résultat final sont très différents	564
<b>Singularité du système reproducteur</b>	545	Le cycle ovarien est fait de l'alternance des phases folliculaire et lutéale	565
Unique parmi les systèmes corporels, le système reproducteur ne contribue pas à l'homéostasie mais a d'autres effets importants	545	La phase folliculaire est caractérisée par le développement et la maturation du follicule	567
Le système reproducteur comprend les gonades, le tractus génital et les glandes sexuelles annexes	545	La phase lutéale est caractérisée par la présence du corps jaune	567
Chaque cellule reproductrice contient un demi-ensemble de chromosomes	546	Le cycle ovarien dépend d'interactions hormonales complexes	569
La gamétogenèse se fait par méiose	547	Les modifications cycliques de l'utérus sont causées par les modifications hormonales au cours du cycle ovarien	573
Le sexe d'un individu dépend des chromosomes sexuels	549	Les contraceptifs oraux empêchent l'ovulation	574
La différenciation sexuelle selon le type masculin ou féminin dépend de la présence ou de l'absence de facteurs de masculinisation	549	Les modifications pubertaires dans le sexe féminin sont analogues à celles du sexe masculin	574
<b>Physiologie de la reproduction masculine</b>	551	La ménopause est propre au sexe féminin	574
Dans le scrotum, les testicules bénéficient d'un environnement moins chaud essentiel pour la spermatogenèse	551	La fécondation a lieu dans la trompe de Fallope	575
Les cellules de Leydig des testicules sécrètent la testostérone masculinisante	551	Le blastocyste peut s'implanter dans l'endomètre grâce à l'action des enzymes du trophoblaste	576
La spermatogenèse est la production de spermatozoïdes abondants, mobiles, extrêmement spécialisés	553	Le placenta est l'organe d'échanges entre le sang maternel et celui du fœtus	579
Tout au long de leur développement, les cellules germinales sont étroitement associées aux cellules de Sertoli	555	Les hormones sécrétées par le placenta ont un rôle crucial pour le bon déroulement de la gestation	580
LH et FSH de l'hypophyse antérieure contrôlent la sécrétion de testostérone et la spermatogenèse	555	L'organisme maternel s'adapte aux besoins accrus dus à la gestation	582
L'activité de la libérine des hormones gonadotropes augmente à la puberté	556	Les changements de fin de grossesse préparent l'accouchement	582
Les spermatozoïdes sont stockés et concentrés et leur capacité à féconder augmente dans les canaux du tractus génital	557	Les facteurs responsables du déclenchement de l'accouchement sont de mieux en mieux connus	582
Les glandes sexuelles accessoires fournissent le gros du sperme	557	Il y a une rétroaction positive au cours de l'accouchement	584
		La lactation dépend de multiples stimuli hormonaux	586
		L'allaitement maternel est avantageux pour la mère et le bébé	587
		La fin est un début	588

<b>A</b>	<b>Le système métrique</b>	A-1	<b>C</b>	<b>Stockage, réplication et mode d'expression de l'information génétique</b>	A-18
<b>B</b>	<b>Rappel des principes de chimie</b>	A-3		<b>Acide désoxyribonucléose (ADN) et chromosomes</b>	A-18
	<b>Atomes, éléments, corps composés, molécules</b>	A-3		Fonctions de l'ADN	A-18
	Atomes	A-3		Structure de l'ADN	A-18
	Éléments et symboles atomiques	A-3		Gènes	A-18
	Corps composés et molécules	A-3		Empaquetage de l'acide désoxyribonucléique	A-18
	Nombre atomique	A-3		<b>Appariement des bases, réplication et transcription</b>	A-19
	Poids atomique	A-3		Réplication de l'ADN	A-19
	<b>Liaisons chimiques</b>	A-4		Transcription de l'ADN et ARN messager	A-20
	Couches d'électrons	A-4		<b>Traduction et synthèse des protéines</b>	A-22
	Caractéristiques des liaisons d'un atome, valence	A-4		Triplets du code; codons	A-22
	Ions ; liaisons ioniques	A-5		Ribosomes	A-23
	Liaison covalente	A-5		ARN de transfert et anticodons	A-24
	Molécules polaires et non polaires	A-6		Étapes de la synthèse des protéines	A-24
	Liaison hydrogène	A-7		Coût en énergie de la synthèse des protéines	A-24
	<b>Réactions chimiques</b>	A-7		Polyribosomes	A-24
	Équations équilibrées	A-7		Contrôle de l'activité des gènes et transcription des protéines	A-24
	Réactions réversibles et irréversibles	A-7		<b>Division cellulaire</b>	A-26
	Catalyseurs, enzymes	A-8		Mitose	A-26
	<b>Poids moléculaire, poids correspondant à la formule et mole</b>	A-8		Méiose	A-27
	<b>Solutions, colloïdes et suspensions</b>	A-8		Mutations	A-27
	Solution	A-9	<b>D</b>	<b>Chimie de l'équilibre acido-basique</b>	A-30
	Électrolytes: non électrolytes	A-9		<b>Constantes de dissociation des acides</b>	A-30
	Mesures de concentration	A-9		<b>Caractère logarithmique du pH</b>	A-30
	Molarité	A-9		<b>Systèmes-tampons chimiques</b>	A-30
	Suspensions et colloïdes	A-9		<b>Équation de Henderson-Hasselbalch</b>	A-31
	<b>Chimie minérale et chimie organique</b>	A-10		<b>Régulation de la concentration de l'ion hydrogène par la respiration</b>	A-31
	Distinction entre substances chimiques organiques et inorganiques	A-10		<b>Régulation par les reins de la concentration de l'ion hydrogène</b>	A-32
	Monomères et polymères	A-10		<b>Déséquilibres acido-basiques</b>	A-34
	<b>Acides, bases et sels</b>	A-10	<b>E</b>	<b>Réponses aux questions courtes, aux sujets de réflexion et aux faits cliniques</b>	A-38
	Acides et bases	A-10		<b>Glossaire</b>	G-1
	Sels; réactions de neutralisation	A-11		<b>Index</b>	I-1
	<b>Radicaux fonctionnels des molécules organiques</b>	A-11			
	<b>Glucides</b>	A-11			
	Composition chimique des glucides	A-11			
	Types de glucides	A-11			
	<b>Lipides</b>	A-12			
	Lipides simples	A-12			
	Lipides complexes	A-13			
	<b>Protéines</b>	A-13			
	Composition chimique des protéines	13			
	Liaison peptide	A-14			
	Niveaux structurels des protéines	A-14			
	Hydrolyse et dénaturation	A-16			
	<b>Acides nucléiques</b>	A-16			
	<b>Biomolécules à fort contenu d'énergie</b>	A-17			

# Avant-propos

## Philosophie, buts et thème

Alors que j'ai commencé à enseigner la physiologie au milieu des années 1960, je suis encore et toujours émerveillée des subtilités et de l'efficacité de l'organisme. Aucune machine n'est à même, ne fût-ce qu'en partie, d'effectuer aussi efficacement certaines des fonctions naturelles de notre corps. Mon objectif, lors de l'écriture de manuels de physiologie n'est pas seulement d'aider les étudiants à comprendre comment leur corps fonctionne, mais également de partager cet enthousiasme. La plupart d'entre nous, et même des enfants, sont naturellement curieux de comprendre comment ils fonctionnent. Lorsqu'un enfant découvre pour la première fois qu'il contrôle lui-même l'usage de ses mains, il en est fasciné et passe énormément de temps à les faire bouger devant lui. En capitalisant sur cette curiosité naturelle envers nous, je tente de faire de la physiologie un sujet que les étudiants seront curieux d'apprendre.

Même le sujet le plus fascinant peut devenir difficile à appréhender s'il n'est pas présenté correctement. C'est pourquoi ce livre est construit selon un format logique et compréhensible en insistant sur le fait que chaque concept fait partie intégrante d'un ensemble. Trop souvent, les étudiants ont tendance à compartimenter le cours de physiologie, or c'est bien en comprenant que chaque système est dépendant des autres que l'étudiant va capter le fonctionnement interconnecté de l'organisme humain. Cet ouvrage se focalise sur le fonctionnement de l'organisme depuis la cellule jusqu'au système intégré, et il est organisé autour du thème central de l'homéostasie, où l'on comprend comment l'organisme rencontre les demandes de changements tout en maintenant constantes les variables internes pour assurer le fonctionnement de toutes les cellules et les organes!

Cet ouvrage dénommé « *Physiologie Humaine* » est un condensé de mon livre précédant « *Physiologie humaine: de la cellule aux systèmes* ». Cette nouvelle et quatrième édition de *Physiologie Humaine* couvre raisonnablement tous les concepts de la physiologie et intègre des principes pédagogiques pour les rendre captivants et compréhensibles.

Ce livre se veut une introduction à la physiologie, et sera sans doute pour de nombreux étudiants leur seul contact avec un ouvrage traitant de cette matière, c'est pourquoi tous les aspects de la physiologie y sont abordés. Les concepts intégrés au livre ont été choisis en fonction du minimum requis de connaissances indispensables pour la compréhension des bases de la physiologie, c'est pourquoi le manuscrit n'est pas encombré de détails accessoires.

Le livre peut être compris sans prérequis. Même les connaissances en anatomie sont intégrées au texte lorsque la relation entre la fonction et la structure est indispensable

à la compréhension de la fonction. De plus, de nouveaux aspects pédagogiques ont été apportés à cette quatrième édition pour la rendre plus accessible aux étudiants qui n'ont pas les prérequis nécessaires.

De nouvelles informations basées sur les découvertes les plus récentes ont été intégrées à tous les chapitres. Les étudiants peuvent être assurés du caractère précis et actuel de la matière. Cette édition est la plus révisée à ce jour, elle intègre toutes les nouvelles découvertes tout en les clarifiant et les simplifiant. Certaines idées encore controversées et des hypothèses sont présentées pour illustrer combien la physiologie est une science dynamique et évolutive.

Le texte est conçu pour faciliter la compréhension des principes de base et des concepts de physiologie plutôt que pour encombrer la mémoire de l'étudiant avec des détails futiles. Le phrasé est fluide et direct, et tous les efforts ont été faits pour en faciliter la lecture, avec des transitions simples, un raisonnement logique permettant la cohérence des idées au travers du texte.

## Caractéristiques du texte et des aides à la compréhension

### Mise en œuvre du thème de l'homéostasie

Un schéma unique et facile à suivre du modèle homéostatique représentant la relation entre les cellules, les systèmes et l'homéostasie est affiché en introduction de chaque chapitre. Chaque chapitre commence par une version spécifique de ce schéma, accompagnée d'une brève description focalisée sur l'implication du système corporel décrit dans le chapitre au sein de l'organisme complet. Cette caractéristique oriente l'étudiant sur l'aspect homéostatique de la matière qui va suivre. À la fin de chaque chapitre, le **Panorama du chapitre: gros plan sur l'homéostasie** aide l'étudiant à mettre en perspective comment cette partie du corps contribue à l'homéostasie de l'ensemble. Cette mise en perspective finale, le schéma introductif modélisant la participation de chaque système à l'homéostasie comme sa brève description initiale, facilitent la compréhension par l'étudiant des interactions et des interdépendances des systèmes corporels, même si chacun de ces systèmes est appréhendé individuellement.

### Illustrations pédagogiques

Des illustrations anatomiques, des représentations schématiques, des descriptions pas-à-pas au sein des figures décrivant des processus, des photographies, des tableaux et des graphiques complètent et renforcent les descriptions du texte. Des organigrammes sont souvent utilisés pour aider l'étudiant à intégrer les informations décrites dans le texte. Au sein de

ces organigrammes, un ombrage plus ou moins accentué de la même couleur représente une augmentation ou une réduction d'une variable contrôlée, comme la pression sanguine ou la concentration plasmatique du glucose. Les entités physiques comme les structures du corps ou les molécules chimiques sont schématisées différemment de manière à être visualisées indépendamment des actions. Des icônes représentatives d'organes sont intégrées au sein des organigrammes.

Des combinaisons de couleurs intégrées au sein des figures et associées à des tableaux aident l'étudiant à mieux visualiser quelle partie de l'organisme est responsable de telle ou telle activité. Par exemple, une description anatomique du cerveau est intégrée au sein d'un tableau des fonctions des composants majeurs du cerveau où chaque entité est présentée spécifiquement par une couleur dans la figure et dans le tableau.

Une caractéristique unique de cet ouvrage est que les personnes présentées au sein des nombreuses illustrations sont des représentants de la diversité de la société (elles ont été dessinées à partir de photographies de personnes réelles). La présentation des personnes issues de différents peuples, d'âges et de sexes différents permettent à tous les étudiants de s'identifier à ces personnages.

## Analogies

Beaucoup d'analogies et de fréquentes références aux expériences de tous les jours sont intégrées de manière à aider l'étudiant à faire des relations avec les concepts physiologiques présentés. Ces aides sont issues de mon expérience de quatre décennies d'enseignement. Sachant quels sont les domaines les plus difficiles à appréhender par les étudiants, j'ai tenté de développer des liens qui les aident à mettre en relation des concepts nouveaux avec des choses qui leur sont déjà communes.



## Physiopathologie et relations avec la maladie

Une autre manière efficace d'intéresser l'étudiant consiste à l'aider à comprendre que ce qu'il apprend est digne d'intérêt et est en relation avec la clinique. Beaucoup des étudiants qui vont utiliser cet ouvrage auront une carrière dans le domaine médical ou paramédical, les fréquentes références à la physiopathologie démontrent l'adéquation des concepts présentés avec leurs objectifs professionnels. Les icônes « Note clinique » attirent l'attention sur cette relation avec la pathologie, et sont intégrées au texte.

## Les encadrés

Un encadré « Pour en savoir plus » est intégré à chaque chapitre. Ces encadrés présentent des informations importantes et de grand intérêt pour l'étudiant sur des sujets très variés comme la recherche sur les cellules souches, l'acupuncture, la physiologie de l'exercice physique, de nouvelles découvertes concernant des maladies très communes comme l'accident vasculaire cérébral, des perspectives historiques ou la réponse de l'organisme à de nouveaux environnements comme ceux rencontrés lors de la plongée en eaux profondes.

## Sous-titres descriptifs

En lieu et place de titres traditionnels concis pour chaque section importante de chapitre (par exemple: Les valves cardiaques), des sous-titres très descriptifs alertent l'étudiant pour chaque élément important de la sous-section à venir (par exemple: Les valves commandées par la différence de pression assurent un sens de circulation unique du sang au travers du cœur). Ces titres segmentent également de larges concepts en entités plus petites et plus maniables pour l'étudiant et, en plus, le listing de ces titres au sein d'une table des matières au début de chaque chapitre permet de mieux cerner les objectifs du chapitre.

## Mots clés et étymologie

Les mots clés sont définis au fur et à mesure de leur apparition dans le texte. Et parce que la physiologie implique l'utilisation de nombreux nouveaux termes, et que beaucoup d'entre eux peuvent rebuter au premier abord, l'étymologie de ces nouveaux mots est décrite afin d'en faciliter la compréhension.

## Révisions et outils d'évaluation

**Nouveau!** Des **Fiches de Révision** pratiques sont disponibles pour chaque chapitre. Lors de leurs révisions, les étudiants peuvent consulter ces résumés de chapitre. Ces Fiches de révision présentent de manière concise tous les points clés du chapitre, section par section, incluant des références avec leurs numéros de page, les figures et les tableaux. Ces fiches de révision permettent aux étudiants de lire le résumé et d'accéder aux informations visuelles directement sans devoir faire des allers-retours incessants dans le livre. Elles permettent également aux étudiants de revoir facilement les aspects importants de la matière juste avant de se présenter aux examens.

Les **Exercices de Révision** à la fin de chaque chapitre comprennent des questions très variées, ils sont construits pour que les étudiants puissent autoévaluer leurs connaissances. Une section **Éléments de Réflexion** est focalisée sur des problèmes qui encouragent l'étudiant à comprendre et à intégrer ce qu'il vient d'apprendre, tandis que le **Cas Clinique**, fait référence à une situation pathologique permettant à l'étudiant d'appliquer ce qu'il vient d'apprendre à une symptomatologie spécifique d'un patient. Les réponses et les explications relatives à ces exercices sont présentées au sein de l'Annexe E.

## Annexes et glossaire

Les annexes sont principalement destinées aux étudiants qui ont besoin de connaissances de base ou qui nécessitent un complément d'informations.

■ L'**Annexe A, le système métrique**, est un tableau de conversion entre les mesures métriques et leurs équivalents anglo-saxons.

■ La plupart des livres de physiologie intègrent un chapitre sur la chimie, alors que la plupart des professeurs de physiologie n'enseignent pas les concepts chimiques de base. La connaissance de la chimie au-delà du niveau introduit par les études secondaires n'est pas un prérequis indispensable pour comprendre ce livre. Dès lors, j'ai préféré dans l'An-

**nexe B, Rappels des Principes de Chimie**, présenter un outil de référence pratique pour les étudiants qui ont besoin d'une introduction ou d'une révision des concepts de la chimie de base appliquée à la physiologie.

■ De la même manière, l'**Annexe C, Stockage, Réplication et Expression des Informations Génétiques**, sert d'introduction aux étudiants, ou de matériel de révision si l'enseignant le juge opportun. Cette annexe comprend une description de l'ADN et des chromosomes, de la synthèse protéique, de la division cellulaire et des mutations.

■ Les détails chimiques de l'équilibre acide-base ont été retirés du texte principal, mais ont été inclus au sein de l'**Annexe D, la Chimie de l'Équilibre Acide-Base**, pour les étudiants qui en possèdent les bases mais qui voudraient en savoir plus sur les principes chimiques à ce sujet.

■ L'**Annexe E, Réponses aux Exercices de Révision, Éléments de Réflexion et Cas Clinique**, apporte les solutions et explications aux éléments de réflexion et aux cas cliniques.

■ Le **Glossaire** offre la possibilité de revoir la signification des termes clés, incluant les informations phonétiques sur la manière de prononcer chaque terme.

## Ce qui est neuf dans la quatrième édition

Cette édition a subi de nombreuses révisions pour rendre le livre aussi actuel, pertinent et accessible aux étudiants que possible. Chaque aspect du manuscrit a été amélioré comme illustré dans les exemples qui suivent. Pour une liste détaillée de toutes les modifications, contactez le représentant commercial de l'éditeur.

### De nombreuses améliorations dans les illustrations

Plus de 90 % de l'iconographie a été améliorée dans cette édition, avec plus de schémas en trois dimensions et de nombreuses révisions conceptuelles des figures pour améliorer leur compréhension; des couleurs plus brillantes, plus actuelles et plus accrocheuses et cela toujours dans un style plus uniforme. Ce qui est également nouveau dans cette édition, c'est l'apparition au sein des organigrammes fonctionnels d'icônes représentatives d'organes et qui aident l'étudiant à comprendre quelles structures sont impliquées dans des actions spécifiques. Il y a également plus de figures explicatives qui ont été intégrées au manuscrit, expliquant pas à pas les processus, ce qui permet d'orienter visuellement les étudiants lors de la compréhension des concepts par les illustrations.

Les nouvelles illustrations de cette édition comprennent les exemples suivants:

■ Figure 5-10, p 120. Voies corticales impliquées dans la prononciation d'un mot lu ou entendu.

■ Figure 6-2, p 143. Amplitude du potentiel récepteur, la fréquence des potentiels d'action dans la fibre afférente, et rythme de libération du neurotransmetteur au sein de la terminaison afférente en fonction de la force du stimulus.

■ Figure 8-22, p 221. Organisation des filaments fins et larges au sein d'une cellule musculaire lisse au repos ou lors d'une contraction (incluant le gonflement cellulaire lors

du réarrangement des fibres et de leur glissement) et la Figure 8-23, p 221: les ponts d'union de la myosine activée dans le muscle lisse.

■ Figure 17-24, p 529. Localisation et structure du pancréas et types cellulaires des îlots de Langerhans.

■ Figure 18-10, p 566. Comparaison des divisions mitotique et méiotique amenant à la production des spermatozoïdes et des ovocytes à partir des cellules germinales.

Quelques exemples de figures entièrement révisées et nouvellement conceptualisées pour permettre une meilleure compréhension:

■ Figure 2-12, p 31. Phosphorylation oxydative au sein de la membrane interne de la mitochondrie.

■ Figure 3-17, p 61. Symport du glucose.

■ Figure 4-7, p 77. Changements de perméabilité et flux ioniques pendant un potentiel d'action.

■ Figure 6-19, p 156. Phototransduction, traitement rétinien de l'image et formation du potentiel d'action au sein des voies visuelles.

■ Figure 9-13, p 242. Tracé électrocardiographique en dérivation II et statut électrique du cœur en regard de chaque portion du tracé.

Les exemples suivants représentent un nouveau tableau et un tableau modifié:

■ Tableau 7-2, p 184. Propriétés des types de récepteurs du SNA (nouveau tableau)

■ Tableau 10-1, p 266. Caractéristiques des vaisseaux sanguins (des schémas de la structure des vaisseaux sont maintenant incorporés dans le tableau).

### Mise à jour du contenu

Le contenu du manuscrit a été mis à jour, comme illustré au sein des exemples suivants:

■ Ajout d'informations actualisées au sein de l'encadré *La science des cellules souches et l'ingénierie tissulaire: ou comment remettre à neuf des parties defectueuses de l'organisme* et concernant les cellules souches pluripotentes induites, l'impression d'organes en trois dimensions, et les nouvelles politiques fédérales concernant l'utilisation de cellules souches (Chapitre 1, p. 8-9).

■ La mise à jour du mécanisme ionique dirigeant l'oscillation du potentiel membranaire des cellules auto-rythmées cardiaques, y incluant le rôle des «funny channels» (Chapitre 99, p. 235-235).

■ Extension de la discussion concernant les adipokines et ajout d'une distinction entre le tissu adipeux viscéral et sous-cutané (Chapitre 16, p. 482).

■ Révision de la discussion à propos de la pro-opiomélanocortine de manière à mieux coller à l'actualité concernant les nouvelles découvertes sur les différents types d'épissages possible au sein des cellules corticotropes de l'hypophyse antérieure, des kératinocytes de la peau, des neurones hypothalamiques suppresseur d'appétit et des neurones cérébraux producteurs d'endomorphines (Chapitre 17, p. 502 et 504).

■ Présentation plus détaillée et mise à jour de la réaction acrosomiale et de la pénétration du spermatozoïde au travers de la corona radiata et de la zone pellucide, en y incluant le rôle de ZP3. Ajout également du mécanisme sous-tendant le blocage de la polyspermie (Chapitre 18, p. 576).

### Contenu plus clair et plus étoffé

Je retravaille chaque édition de manière à rendre son contenu le plus clair, concis et pertinent possible pour le lecteur; en voici quelques exemples de changements opérés au sein du Chapitre 3 :

- La mention du fait que certains médicaments ciblent les canaux ioniques, et que plus de 60 mutations génétiques de ces canaux sont à l'origine de pathologies humaines (p. 45-46).
- L'ajout des définitions des termes : solution, solvant, soluté et concentration, avant d'aborder la diffusion en fonction d'un gradient de concentration (p. 50).
- La modification du contenu à propos de l'osmose, de la pression osmotique et de la tonicité pour que le texte soit plus clair et plus fluide. Ajout d'une nouvelle figure concernant la tonicité et les mouvements osmotiques de l'eau (p. 52-56).
- La comparaison des similitudes et différences entre les canaux et les transporteurs (p. 56).
- Une plus grande distinction entre les transports actifs primaire et secondaire; le déplacement de la description du transport actif secondaire depuis un chapitre plus éloigné vers le Chapitre 3 et description plus en détails du symport (cotransport) et de l'antiport (contre-transport ou échange) avec améliorations de toutes les figures qui accompagnent ces descriptions (p. 58-61).

## Organisation

Il n'y a pas d'organisation idéale des processus physiologiques au sein d'une séquence logique. Dans la séquence que j'ai choisie, la plupart des chapitres sont construits à partir de la matière vue au cours du chapitre précédant, même si chaque chapitre peut être présenté séparément, ce qui laisse une certaine liberté à l'enseignant. Cette flexibilité est renforcée par l'existence de références croisées qui autorisent la liaison de concepts entre des chapitres différents. Ces références croisées permettent également à l'étudiant de se rafraîchir la mémoire à propos de matières qu'il a déjà vues; et s'il le désire, ces références croisées lui permettront d'aller plus en profondeur dans certaines parties de la matière.

Le sens général va depuis la présentation d'informations assez générales des cellules, vers la description de tissus excitables (nerfs et muscles), puis des organes et systèmes, avec des transitions logiques entre les chapitres. Par exemple, le Chapitre 8 « Physiologie musculaire » se termine par une discussion sur le muscle cardiaque, qui sera alors vu bien plus en détails au sein du Chapitre 9 « Physiologie cardiaque ». Même si parfois des choses qui ne semblent pas avoir de suite logique se suivent comme par exemple les Chapitres 11 « Le sang et les défenses de l'organisme » et 12 « Le Système respiratoire », ils sont néanmoins liés entre eux, comme à la fin du Chapitre 11 où sont présentés les mécanismes de défense de l'arbre respiratoire.

Certaines caractéristiques organisationnelles méritent d'être présentées. La décision la plus difficile lors de l'orga-

nisation des chapitres fut de placer le système endocrine. Il a un avantage certain à placer les systèmes nerveux et endocrine proches les uns des autres puisque ce sont deux principaux systèmes régulateurs de l'organisme. Cependant, la présentation du système endocrine immédiatement après le tissu nerveux rompt la suite logique des matières concernant les tissus excitables. Et de plus, le système endocrine ne peut être vu en profondeur si les étudiants n'ont pas acquis avant les bases pour comprendre le rôle de ce système dans le maintien de l'homéostasie.

Ma solution à ce problème fut trouvée dans le placement du Chapitre 4 « Principes de la communication nerveuse et hormonale ». Ce chapitre introduit les mécanismes de base de l'action des systèmes nerveux et hormonal alors que le système nerveux et les hormones ne sont présentés que plus tard. Le Chapitre 4 met en exergue le contraste entre les cellules nerveuses et endocrines quant à leur manière de communiquer avec d'autres cellules dans l'exercice de leurs actions régulatrices. Utilisant des modes d'actions très différents, les actions régulatrices des systèmes nerveux et endocrine sont comparées à la fin du chapitre. Ce qui nous donne une bonne liaison avec le Chapitre 5 qui se poursuit avec le système nerveux. Les Chapitres 5, 6 et 7 sont entièrement consacrés au système nerveux. Les hormones spécifiques sont introduites au fur et à mesure des besoins et au sein des chapitres appropriés, comme par exemple le contrôle hormonal du cœur et des vaisseaux sanguins pour assurer le maintien de la pression sanguine qui est présenté au sein des Chapitres 9 et 10, ainsi que le contrôle hormonal de l'équilibre volumique par les reins dans les Chapitres 13 et 14. Le traitement par l'organisme des aliments absorbés riches en énergie est largement sous le contrôle endocrinien, ce qui nous donne un lien vers la digestion (Chapitre 15) et la balance énergétique (Chapitre 16) et finalement vers le système endocrine (Chapitre 17). Ce chapitre consacré au système endocrinien rassemble l'origine, les fonctions, et le contrôle des sécrétions spécifiquement endocrines, et sert de pierre angulaire pour synthétiser et fédérer les fonctions homéostatiques du corps. Et enfin le dernier chapitre, le Chapitre 18, en se basant sur le contrôle hormonal des gonades (testicules et ovaires) introduit précédemment dans le Chapitre 17, diverge du thème de l'homéostasie pour se consacrer à la physiologie de la reproduction.

Outre la nouvelle présentation des hormones et du système endocrinien, toute l'organisation de ce livre est unique. Par exemple, et à l'opposé des autres livres de physiologie, la peau est décrite au sein du chapitre consacré aux mécanismes de défense de l'organisme (Chapitre 11), ceci du fait des découvertes récentes sur les fonctions immunitaires de la peau. En se distançant du regroupement traditionnel des matières, cela nous a permis de présenter les différents sujets de manière plus indépendante et plus intégrée sans omettre d'éléments qui autrement se seraient retrouvés noyés au sein d'autres chapitres. Par exemple, le Chapitre 14 est consacré à l'équilibre hydrique et à la régulation acide-base, sujets bien souvent perdus au sein du chapitre dévolu aux reins. Un autre exemple est le regroupement du système nerveux autonome, des motoneurons et de la jonction neuromusculaire au sein d'un seul Chapitre 7 consacré à la division efférente du système nerveux périphérique. Ce chapitre sert de lien entre les chapitres dédiés au système nerveux et le Chapitre 8 dédié au système musculaire. La balance énergé-

tique et la régulation de la température sont groupées au sein d'un chapitre indépendant, le Chapitre 16.

Bien qu'il existe une justification à la couverture de l'ensemble des aspects de la physiologie dans l'ordre tel qu'utilisé ici, ce n'est certainement pas la seule manière logique de présenter les choses. Mais puisque chaque chapitre est à même d'être utilisé indépendamment des autres, surtout du fait de la présence des références croisées entre chapitres, chaque professeur peut définir lui-même la séquence de présentation qui lui convient. Certains chapitres peuvent même être omis, en fonction des intérêts des étudiants et des contraintes horaires du cours.

## Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration des trois premières éditions du manuel *Fundamentals of Human Physiology*, tout comme toutes celles qui ont participé aux sept éditions du *Sherwood: Human Physiology: From Cells to Systems* à partir desquelles les versions du *Fundamentals* sont inspirées.

En plus de 162 relecteurs qui ont soigneusement révisé la précision, la clarté et la pertinence des livres précédents, je remercie particulièrement les personnes suivantes qui ont relu la présente édition :

Ahmed Ally, Massachusetts College of Pharmacy and Health Sciences

Deborah Barry, Mountwest Community and Technical College

Linda Collins, University of Tennessee à Chattanooga

Gibril O. Fadika, Hampton University

Michael S. Finkler, Indiana University – Kokomo

Eric Hall, Rhode Island College

Dean Lauritzen, City College of San Francisco

David Thomson, Brigham Young University

Je voudrais également remercier les lecteurs de ce livre qui ont pris le temps de m'envoyer des commentaires très utiles.

J'ai eu la chance de coopérer avec une équipe très impliquée et motivée de Brooks/Cole. Savoir que tant de personnes compétentes ont contribué de diverses manières à cet ouvrage, fut pour moi une source de confort et d'inspiration qui m'a permis d'amener cet ouvrage à son terme.

Je remercie chaleureusement mon éditrice, Yolanda Cossio, pour sa clairvoyance, sa créativité, sa guidance et son aide permanente. Yolanda et ses assistantes ont activement œuvré pour que cette édition soit la plus pointue possible. Ses décisions nous ont permis que cet ouvrage soit si abouti et adapté aux professeurs comme aux étudiants qui l'utiliseront. À titre personnel, j'ai particulièrement apprécié sa préoccupation et ses attentions quand j'ai eu à subir une opération chirurgicale au cours de l'élaboration du livre. Merci également aux assistants éditeurs Brandusa Radoias, Kristina Chiapella et Joshua Taylor qui se sont occupés de toute l'administration et qui ont réalisé de nombreuses tâches pour assister Yolanda durant la genèse de l'ouvrage.

J'ai réellement apprécié tous les efforts de la responsable éditoriale Suzannah Alexander pour sa participation au développement du projet, qui s'est dès lors effectué sans problème ni surprise. Je lui suis très reconnaissante pour le temps qu'elle a investi avec moi pour soumettre une version entièrement électronique du manuscrit, ce qui fut une première pour moi en déjà 20 ans de carrière en tant qu'écrivaine.

Je suis pleine de gratitude envers la contribution essentielle de John Walker, directeur artistique principal de chez Brooks/Cole, qui a supervisé l'entièreté du design artistique et qui a choisi une page de couverture très stimulante qui donne une impression de force, d'entrain, de grâce et d'agilité. Le nouveau design de cette édition a été développé par Suzannah Alexander à qui nous devons l'esthétique du texte, qui est plaisant, consistant, contemporain et chargé de sens.

L'ensemble des outils d'apprentissage informatisés ont été adaptés sous la direction de l'éditrice responsable multimédia Shelley Ryan avec l'aide de son chef de projets Alex Brady. Ces outils sont constitués des didacticiels interactifs en ligne, de questionnaires en ligne, et des autres dispositifs d'apprentissage en ligne de CengageNOW. L'assistant éditeur Alexis Glubka a supervisé tout le développement des nombreux supports en ligne, s'assurant de leur cohérence. Je remercie chaleureusement toutes ces personnes pour la grande qualité du matériel multimédia qui accompagne cette édition.

Au niveau du site de production, je tiens particulièrement à remercier la chargée de projet responsable du contenu Michelle Clark, qui a soigneusement organisé chaque étape du processus de production, alors qu'elle est en charge de nombreux autres ouvrages en parallèle. Je sais qu'elle s'est toujours assurée que tout se déroule conformément au planning. Je remercie également le spécialiste des droits d'auteur Don Schlotman qui s'est occupé d'acquiescer toutes les autorisations pour les images et figures incorporées au texte, il a réalisé un travail ingrat, mais absolument indispensable. Quand tout a été finalement rassemblé, c'est la responsable de l'impression Paula Vang qui a coordonné le tirage du manuscrit.

Brooks/Cole a également réalisé un énorme travail pour sélectionner les meilleurs fournisseurs indispensables à la production. Tout d'abord, ce fut un réel plaisir à titre personnel et professionnel de collaborer avec les deux éditrices de production très compétentes de chez Graphic World : c'est Carol O'Connell qui a réussi le tour de force de lancer le processus de production dans le calme malgré la charge de travail, et ensuite c'est Laura Sullivan qui a repris le travail de Carol à mi-parcours quand cette dernière a changé de profession. Laura a pu finaliser le processus sans rien manquer. C'est grâce à leur travail compétent que toutes les illustrations, les compositions, la mise en page et toutes les autres questions connexes ont pu être traitées de manières adéquates et en temps voulu.

Finalement, je veux exprimer mon amour et ma reconnaissance à tous mes proches qui ont accepté de sacrifier une partie de leur vie de famille pour que cette édition puisse voir le jour. Je tiens à remercier mon mari, mes enfants, mes petits-enfants et ma mère pour leur patience et leur compréhension pour tous les moments où j'ai travaillé à ce livre plutôt que d'être là avec eux et pour eux. Mon mari, Peter Marshall, mérite toute mon estime et toute ma reconnaissance pour avoir pris en charge ma part des tâches domestiques, me laissant ainsi plus de temps pour rédiger cet ouvrage. Je n'aurais pas pu écrire ce livre, ni ceux qui l'ont précédé, sans son aide, son support et ses encouragements. Merci à tous !!

Lauralee Sherwood



# Avant-propos à la 3<sup>e</sup> édition française

Il existe énormément de livres consacrés à la physiologie. Alors pourquoi encore un nouvel ouvrage traitant de la Physiologie Humaine? Parce que les connaissances évoluent bien sûr! Il semble que la complexité cellulaire soit sans limite. Il ne faut pas oublier que la cellule a derrière elle une histoire évolutive de plusieurs milliards d'années...! Et le lecteur est en droit d'exiger un manuel au fait des dernières découvertes. Mais aussi parce que l'étudiant mérite un livre au texte précis, aux illustrations nettes, pointues et utilisant toutes les nouvelles ressources iconographiques.

Traduire la 4<sup>e</sup> édition de *Fundamentals of Human Physiology* de Lauralee Sherwood fut pour moi une expérience des plus enrichissantes. D'abord, cela m'a permis de mettre à jour mes connaissances en physiologie déjà vieilles de près de 30 ans. Mais j'ai eu également beaucoup de plaisirs à le faire, car cette version se lit comme un thriller : l'auteure parvient à tenir son lecteur en haleine et son style léger accroche, il donne envie de poursuivre la lecture, d'en savoir plus... Madame Sherwood n'encombre pas le lecteur de détails inutiles, elle n'enseigne que les fondements de la physiologie cellulaire! Elle évite le piège de l'encyclopédisme.

Au lecteur d'aller plus loin, d'approfondir ses connaissances en ayant déjà de très bonnes bases. Et quoi de plus facile que d'apprendre sans avoir la sensation pesante de subir sa formation... J'aurais tant aimé pouvoir étudier dans un livre comme celui-ci... Je souhaite à tous les étudiants d'y trouver autant de satisfactions que moi lors de sa lecture.

Je tiens à remercier les Éditions De Boeck Supérieur et spécialement Madame Lemoine de m'avoir fait confiance pour revoir et compléter la version française précédente de ce précis de Physiologie Humaine. J'ai tenté d'en respecter l'esprit et la lettre, et j'y ai parfois ajouté une note personnelle sous la forme de Notes du Traducteur (*NdT*).

*Fabien Ectors*

Docteur en Médecine et agrégé de l'enseignement supérieur en sciences embryologiques.

Responsable de la plate-forme de transgénèse mammalienne et membre des centres de recherche GIGA (Groupe Interdisciplinaire de Génoprotéomique Appliquée) et FARAH (Fundamental and Applied Research for Animals & Health) de l'Université de Liège.

Pendant la minute qu'il vous faudra pour lire cette page :

Vos yeux convertiront la figure de cette page en signaux électriques (influx nerveux) qui transmettront l'information au cerveau qui traitera celle-ci.

Votre cœur battra soixante-dix fois, pompant 5 litres de sang vers les poumons et 5 autres litres vers le reste du corps.

Approximativement 150 millions de globules rouges usagés vont mourir et seront remplacés par d'autres nouvellement produits.

Plus d'un litre de sang traversera vos reins qui traiteront le sang de façon à conserver les matériaux utiles et à éliminer les matériaux inutiles dans les urines. Vos reins fabriqueront environ 1 ml (1 dé à coudre) d'urine pendant cette minute.

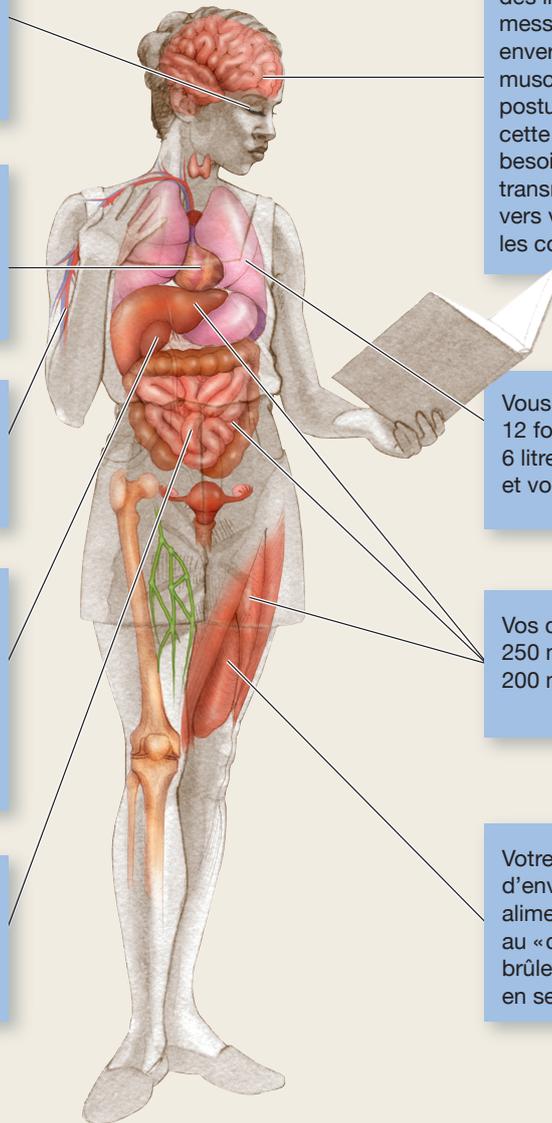
Votre tube digestif s'occupera de votre dernier repas pour transférer les nutriments dans le sang afin d'approvisionner vos cellules.

Outre le fait de recevoir et de traiter des informations telles que les messages visuels, votre cerveau enverra aussi des signaux à vos muscles de façon à maintenir votre posture, bouger vos yeux pour lire cette page, et tourner la page si besoin. Des messagers chimiques transmettront les signaux nerveux vers vos muscles afin de déclencher les contractions nécessaires.

Vous inspirerez et expirez environ 12 fois et échangerez ainsi environ 6 litres d'air entre l'environnement et vos poumons.

Vos cellules consommeront environ 250 ml d'oxygène et produiront 200 ml de dioxyde de carbone.

Votre consommation d'énergie sera d'environ 2 calories, originaires des aliments et destinées à faire face au « coût de la vie », et vos muscles brûleront des calories additionnelles en se contractant.



## APERÇU DU CHAPITRE

### Introduction à la physiologie

Définition de la physiologie  
Relations entre structure et fonction

### Les niveaux d'organisation dans l'organisme

Les cellules comme unités de base de la vie  
Les niveaux d'organisation des tissus, organes, systèmes et organisme

### Le concept d'homéostasie

Importance de l'environnement interne  
Nécessité de l'homéostasie  
Éléments contrôlés par l'homéostasie  
Contribution de chaque système de l'organisme à l'homéostasie

### Systèmes de contrôle homéostatique

Composants d'un système de contrôle homéostatique

# Introduction à la physiologie et à l'homéostasie

## Introduction à la physiologie

Les activités décrites dans la page précédente sont un échantillon des phénomènes qui se produisent à chaque instant dans notre organisme simplement pour nous maintenir en vie. Habituellement nous tenons pour normales ces activités vitales et nous ne nous soucions guère de savoir pourquoi « ça marche » ; et c'est justement ce dont s'occupe la physiologie. La **physiologie** est l'étude des fonctions des organismes vivants. Nous nous intéresserons plus spécialement au mode de fonctionnement de l'organisme humain.

### La physiologie se focalise sur les mécanismes d'action

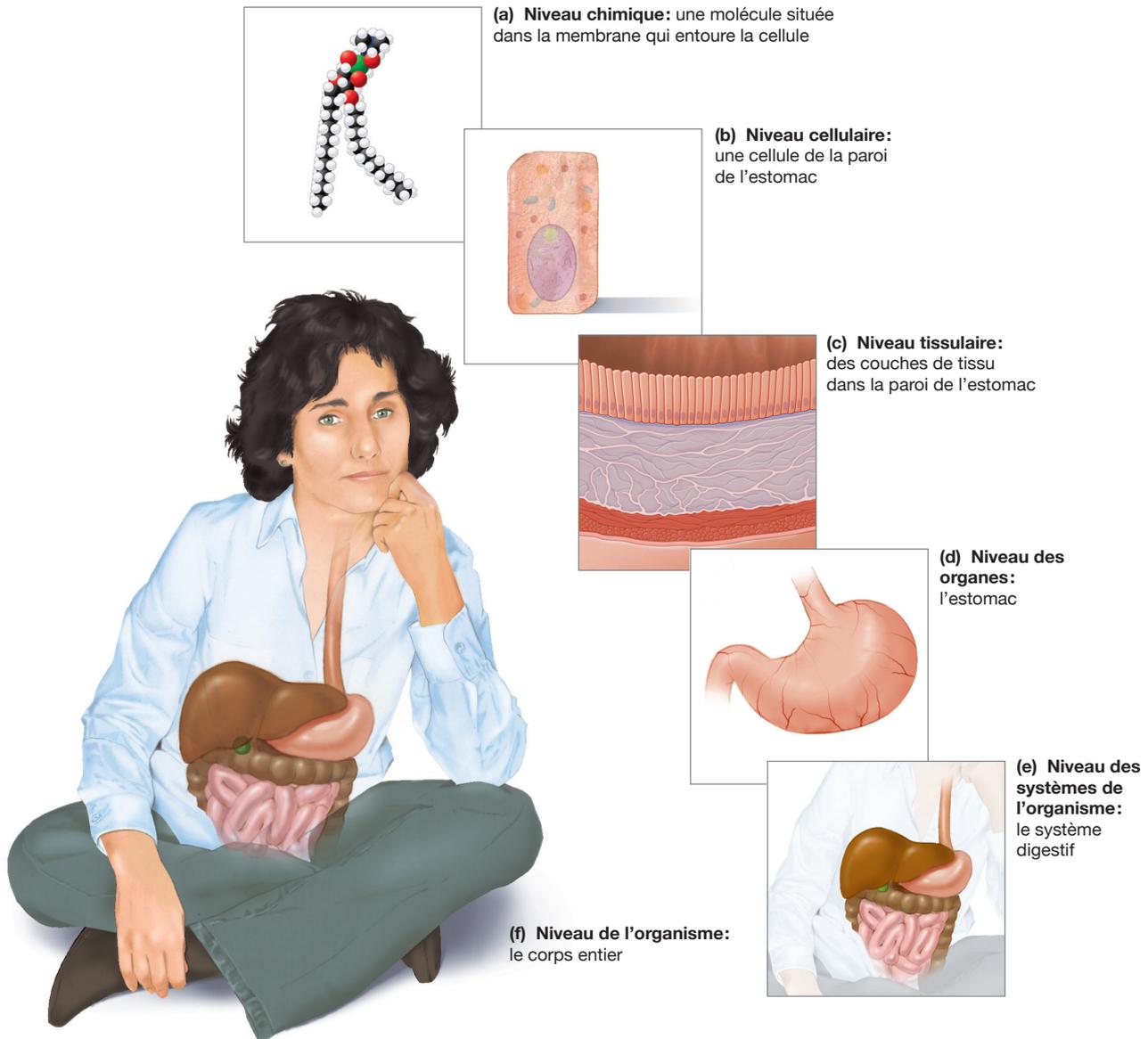
Deux approches peuvent être utilisées pour expliquer les événements qui surviennent au sein de notre corps : une qui décrit le « pourquoi » de l'action et l'autre qui décrit le « comment ». Une réponse à la question : « pourquoi je tremble quand j'ai froid ? » pourrait être « pour aider mon corps à se réchauffer, puisque trembler génère de la chaleur ». Cette approche qui explique la fonction en relation avec un besoin du corps, explique le « pourquoi ». Les physiologistes, cependant, expliquent comment ce processus fonctionne au sein de l'organisme. Pour les physiologistes, l'organisme est une machinerie dont les mécanismes peuvent être décrits sous forme d'événements physiques ou chimiques et de relations causales, événements de même type que ceux qui se produisent dans d'autres composants de l'univers. Une explication physiologique du tremblement serait que, lorsque les terminaisons nerveuses thermo-sensitives du corps détectent une diminution de la température, elles le signalent à la région du cerveau responsable de la thermorégulation. En réponse, cette région du cerveau active les voies nerveuses qui aboutissent finalement à l'induction de contractions musculaires oscillantes et involontaires, à savoir les tremblements.

### La structure et la fonction sont inséparables

Il y a un rapport étroit entre la physiologie et l'**anatomie** qui étudie la structure de l'organisme. Ce sont l'organisation des différentes parties de l'organisme et leurs rapports qui rendent possibles les mécanismes physiologiques. La bonne marche d'une voiture dépend de ses constituants et de leurs interactions ; il en va de même pour l'organisme. C'est pourquoi, au fur et à mesure de la description du fonctionnement de l'organisme, nous rappellerons quelques notions d'anatomie pour faciliter la compréhension du fonctionnement de la partie de l'organisme étudiée.

## Niveaux d'organisation dans l'organisme

Intéressons-nous maintenant à la manière dont l'organisme est structurellement organisé en un système totalement fonctionnel, du niveau chimique à l'ensemble du corps (● Figure 1-1). Ce sont ces niveaux d'organisation qui rendent possible la vie telle que nous la connaissons.



● **FIGURE 1-1** Les niveaux d'organisation dans l'organisme (avec un exemple pour chacun).

### Le niveau chimique: l'organisme est composé d'une variété de molécules et d'atomes

Comme toute matière de notre planète, le corps humain est une combinaison de substances chimiques. Les *atomes* sont les plus petits constituants de toute matière inerte ou vivante. Les atomes les plus communs dans l'organisme – oxygène, carbone, hydrogène et azote – forment environ 96 % de la composition chimique de l'organisme. Ces atomes communs ainsi que quelques autres se combinent pour former les *molécules* du vivant, telles que les protéines, les glucides (hydrates de carbone), les graisses (lipides) et les acides nucléiques (matériel génétique, comme l'acide désoxyribonucléique, ou ADN). Ces importants atomes et molécules sont les matériaux bruts de tout organisme vivant (voir l'appendice B pour un aperçu de ce niveau chimique).

### Le niveau cellulaire: les cellules, unités de base de la vie

Une simple collection d'atomes et de molécules ne suffit pas à conférer les caractères propres au vivant. De fait ces constituants chimiques doivent être disposés et groupés de façon très précise pour former une entité vivante. La **cellule**, qui est l'unité de base de la structure et des fonctions du vivant, est la pierre angulaire de tout organisme vivant. La cellule est le plus petit élément capable d'accomplir les processus associés à la vie. Le chapitre 2 est consacré à la physiologie cellulaire.

Une barrière lipidique très fine, la *membrane cellulaire* (membrane plasmique) entoure le contenu de chaque cellule qu'elle sépare de l'extérieur. Comme cette membrane est capable de contrôler les déplacements de matière hors de la cellule et vers celle-ci, l'intérieur de la cellule est constitué d'un ensemble d'atomes et de molécules différents de la composition chimique du milieu environnant. Comme la membrane cellulaire et ses fonctions sont essentielles

aux processus de la vie, le chapitre 3 leur est entièrement consacré.

Un **organisme** est une entité vivante indépendante. De fait, les formes de vie les plus simples sont les organismes unicellulaires (faits d'une seule cellule) comme les bactéries et les amibes. Les organismes multicellulaires complexes, par exemple les arbres et l'organisme humain, sont des agrégats de trillions ( $10^{18}$ ) de cellules (*multi* signifie beaucoup). Les cellules sont les constituants de base des organismes multicellulaires. Dans les formes multicellulaires vivantes les plus simples – une éponge par exemple – toutes les cellules sont semblables. Par contre les organismes vivants plus complexes comme l'organisme humain comportent différents types de cellules telles que les cellules musculaires, nerveuses et glandulaires.

Chaque organisme humain commence par l'union d'un ovule et d'un spermatozoïde qui donne naissance à une nouvelle cellule qui se multiplie pour former une masse croissante grâce à d'innombrables divisions cellulaires. Si la multiplication cellulaire était le seul processus en jeu au cours du développement, toutes les cellules seraient pratiquement identiques comme dans les organismes multicellulaires les plus simples. Au cours du développement des organismes multicellulaires complexes, comme l'organisme humain, chaque cellule **se différencie** c'est-à-dire qu'elle se spécialise en vue d'accomplir une fonction particulière. Conséquence de la différenciation cellulaire, notre organisme est constitué d'environ 200 types de cellules spécialisées.

### LES FONCTIONS DE BASE DES CELLULES

Toute cellule, qu'elle soit isolée ou fasse partie d'un organisme multicellulaire, remplit un certain nombre de fonctions de base qui sont essentielles à leur survie. Ces fonctions cellulaires de base consistent à :

1. obtenir de l'environnement cellulaire des nutriments et de l'oxygène ( $O_2$ );
2. accomplir diverses réactions chimiques qui fournissent de l'énergie à la cellule à partir des nutriments et de l' $O_2$  comme suit:  
$$\text{nutriments} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{énergie}$$
3. éliminer dans l'environnement de la cellule le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et autres déchets résiduels produits lors de ces réactions chimiques;
4. synthétiser les protéines et les autres substances nécessaires à la structure, à la croissance et aux activités particulières de la cellule;
5. contrôler dans une grande mesure les échanges de matière entre la cellule et son environnement;
6. transporter de la matière d'une partie à l'autre de la cellule, certaines cellules sont en outre capables de se mouvoir dans leur environnement;
7. reconnaître les modifications de l'environnement de la cellule et y répondre;
8. dans le cas de la plupart des cellules, se reproduire. Certaines cellules de l'organisme, notamment les cellules nerveuses et musculaires, perdent la capacité de se reproduire peu après s'être formées. C'est pour cette raison qu'un accident vasculaire cérébral, qui entraîne la perte de cellules nerveuses dans le cerveau, ou qu'un infarctus, qui cause la mort de cellules musculaires du cœur peuvent avoir des conséquences extrêmement graves.

Il y a de remarquables similitudes dans la façon dont les cellules remplissent ces fonctions. Il y a donc beaucoup de caractéristiques communes à toutes les cellules.

### LES FONCTIONS SPÉCIALISÉES DES CELLULES

Dans les organismes multicellulaires, chaque cellule joue un rôle particulier qui est en règle générale dérivé de l'une des fonctions essentielles. Par exemple, tirant parti de leur capacité de synthèse de protéines, les glandes du système digestif produisent des enzymes digestives qui décomposent les aliments ingérés; les **enzymes** sont des protéines spécialisées qui activent des réactions chimiques particulières de l'organisme.

Chaque cellule accomplit de telles actions spécialisées en plus des fonctions essentielles de base qui caractérisent toute cellule. Les fonctions cellulaires de base sont indispensables pour la survie des cellules isolées, tandis que les fonctions spécialisées et les interactions parmi les cellules d'un organisme multicellulaire sont fondamentales pour la survie de l'organisme entier.

### Le niveau tissulaire: les tissus sont des groupements de cellules de même spécialisation

Les cellules qui ont une structure et une fonction spécialisée identiques se combinent pour former les **tissus**; on en distingue quatre *types principaux*: musculaire, nerveux, épithélial et conjonctif (● Figure 1-2). Chaque tissu est constitué de cellules spécialisées dans la même fonction ainsi qu'une quantité variable de matériaux extracellulaires (*extra* signifie « en dehors »).

■ Le **tissu musculaire** est constitué de cellules spécialisées dans la contraction, générant de la tension et produisant du mouvement. Il existe trois types de tissu musculaire: le *muscle squelettique* qui déplace les pièces du squelette; le *muscle cardiaque*, responsable du pompage du sang; le *muscle lisse* qui contrôle le mouvement des matières dans les cavités et organes, comme dans le cas de la progression des aliments le long du tube digestif.

■ Le **tissu nerveux** est constitué de cellules spécialisées dans la production et la transmission d'impulsions électriques, parfois même sur de longues distances. Celles-ci jouent le rôle de signaux transmettant de l'information d'une partie à l'autre de l'organisme. De tels signaux sont importants pour la communication, la coordination et le contrôle de l'organisme. On retrouve le tissu nerveux dans le cerveau, la moelle épinière, les nerfs et les organes sensoriels.

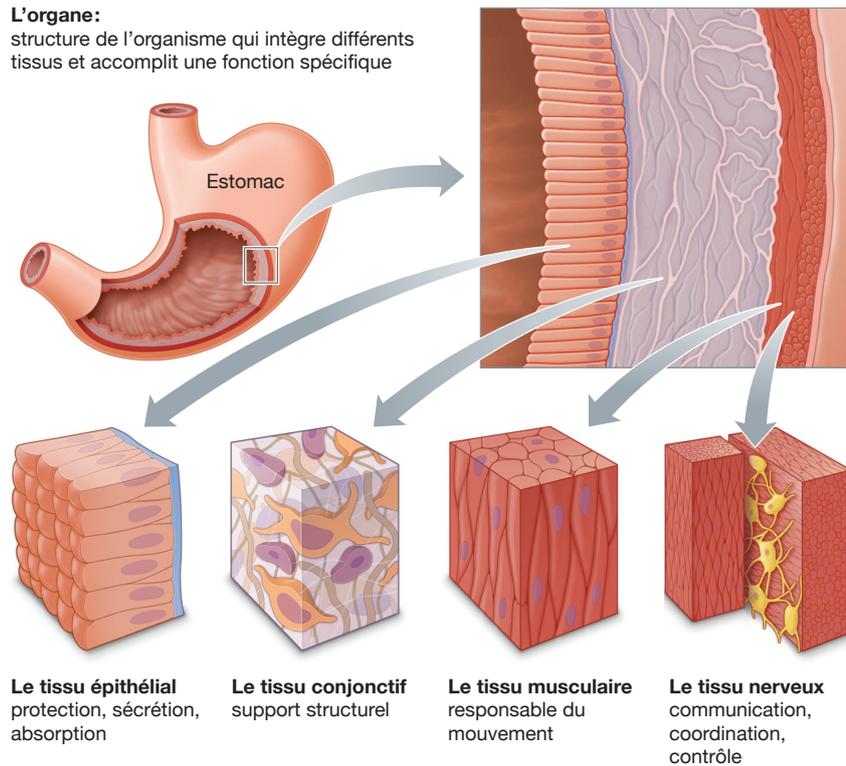
■ Le **tissu épithélial** est constitué de cellules spécialisées dans l'échange de matériaux entre la cellule et son environnement. Toute substance qui entre dans l'organisme ou en sort doit franchir une barrière épithéliale. Il existe deux grands types de structure de ce tissu: l'épithélium de revêtement et les glandes sécrétrices. L'épithélium de revêtement est constitué par des couches de cellules jointes hermétiquement qui couvrent et bordent de nombreuses parties de l'organisme. Par exemple, la couche externe de la peau et le revêtement interne du tube digestif sont revêtus d'épithélium. En général, les revêtements épithéliaux forment la frontière qui sépare l'organisme de son environnement et du contenu des cavités ouvertes sur l'extérieur, comme la lumière du tube digestif (la **lumière** est l'espace intérieur d'un organe creux ou tubulaire). Seules des substances sélectionnées peuvent passer à travers la frontière épithéliale. La nature et l'importance du

transfert de matière dépendent de la localisation et de la fonction du tissu épithélial. Par exemple, il y a très peu d'échanges de matière entre l'organisme et l'environnement au travers de la peau, tandis que les cellules épithéliales du tube digestif sont spécialisées dans l'absorption des nutriments provenant de l'extérieur de l'organisme.

Les **glandes** sont dérivées du tissu épithélial et sont spécialisées dans la sécrétion. La **sécrétion** est la libération, par une cellule, en réponse à une stimulation, de substances synthétisées par la cellule elle-même. Il existe deux catégories de glandes : endocrines et exocrines (● Figure 1-3). Les **glandes exocrines** sécrètent via des canaux vers l'extérieur de l'organisme (ou vers une cavité communiquant avec celui-ci) (*exo* signifie « externe » ; *crine* signifie « sécrétion »). À titre d'exemples, citons les glandes du tube digestif et les glandes sudoripares. Les **glandes endocrines** n'ont pas de canal excréteur et libèrent leurs produits de sécrétion, appelés *hormones*, en interne, dans le sang (*endo* signifie « interne »). Par exemple, le pancréas sécrète de l'insuline dans le sang, qui transporte alors cette hormone vers ses lieux d'activité à travers tout l'organisme. La majorité des cellules dépendent de l'insuline pour absorber du glucose (sucre).

■ Le **tissu conjonctif** a la particularité de comporter relativement peu de cellules dispersées au sein d'une abondante de matrice extracellulaire. Comme son nom l'indique, le tissu conjonctif met en contact, supporte et fixe de nombreuses parties de l'organisme. Il comprend des structures aussi diverses que le tissu conjonctif lâche qui attache le tissu épithélial aux structures sous-jacentes ; les tendons, qui attachent les muscles squelettiques aux os ; l'os qui donne à l'organisme forme, support et protection ; ainsi que le sang qui transporte des matériaux de part et d'autre de l'organisme. À l'exception du sang, les cellules du tissu conjonctif produisent des molécules structurelles particulières qu'elles libèrent dans les espaces extracellulaires. L'une de ces molécules est l'*élastine*, qui permet l'étirement et la rétraction de certaines structures comme, par exemple, le poumon qui se gonfle, puis se dégonfle, lors de la respiration.

**L'organe :**  
structure de l'organisme qui intègre différents tissus et accomplit une fonction spécifique



**Le tissu épithélial**  
protection, sécrétion, absorption

**Le tissu conjonctif**  
support structurel

**Le tissu musculaire**  
responsable du mouvement

**Le tissu nerveux**  
communication, coordination, contrôle

● **FIGURE 1-2** L'estomac, un organe constitué des quatre types principaux de tissus.

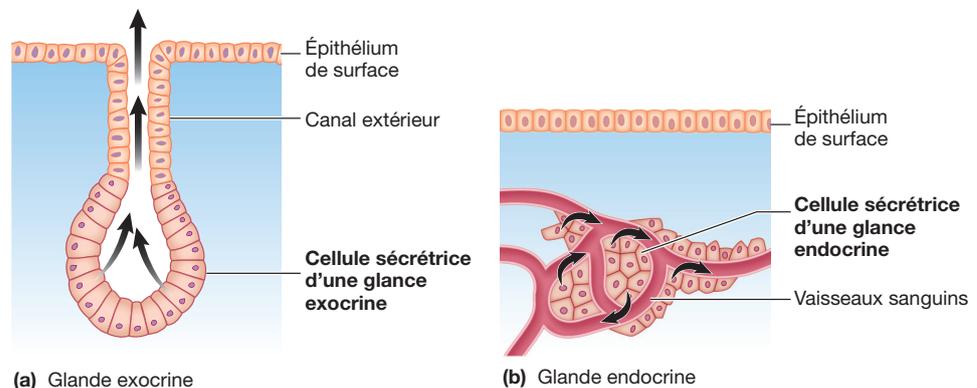
Les tissus musculaire, nerveux, épithélial et conjonctif sont les tissus élémentaires, c'est-à-dire que chacun d'entre eux est un ensemble intégré de cellules qui ont les mêmes structure et fonction. Le terme *tissu* est ainsi souvent employé, en médecine clinique, pour désigner l'ensemble des divers constituants cellulaires et extracellulaires qui forment un organe particulier (par exemple, le tissu pulmonaire ou le tissu hépatique).

### Le niveau des organes: un organe est une unité fonctionnelle faite de différents tissus

Les **organes** sont constitués par un ensemble de deux (ou plus) tissus principaux assemblés de façon à remplir une ou plusieurs fonctions particulières. L'estomac est un exemple d'organe comportant les quatre tissus principaux (● Figure 1-2). Ceux-ci coopèrent au stockage des aliments ingérés, à leur progression vers l'aval du tube digestif, et au début de la digestion des protéines. L'estomac est bordé de tissu

● **FIGURE 1.3** Les glandes exocrine et endocrine.

(a) Les glandes exocrines libèrent leur produit de sécrétion dans le canal excréteur vers l'extérieur de l'organisme (ou vers une cavité communiquant avec l'extérieur).  
(b) Les glandes endocrines libèrent leur produit de sécrétion dans le sang.



épithélial qui limite le transfert de sucs digestifs agressifs et d'aliments non digérés de l'estomac vers le sang. Les cellules glandulaires épithéliales de l'estomac comportent des cellules exocrines qui sécrètent des sucs digestifs dans la lumière, – sucs capables de digérer des protéines – et des cellules endocrines qui sécrètent une hormone qui contribue à réguler la sécrétion exocrine et les contractions musculaires de l'estomac. La paroi de l'estomac contient le tissu musculaire lisse, dont les contractions provoquent le mélange de la nourriture ingérée avec les sucs digestifs et sa progression vers l'intestin. La paroi de l'estomac comporte également du tissu nerveux, qui, de pair avec les hormones, contrôle la contraction musculaire et la sécrétion glandulaire. Le tissu conjonctif lie ensemble ces différents tissus.

### Le niveau du système corporel: un système est un ensemble d'organes connexes

Des groupes d'organes sont organisés, en outre, en systèmes. Chaque système est un ensemble d'organes qui exécutent des fonctions connexes et interagissent en vue d'accomplir, collectivement, une activité essentielle au maintien de tout l'organisme. Par exemple, le système digestif comprend la bouche, le pharynx (la gorge), l'œsophage, l'estomac, l'intestin grêle, le gros intestin, les glandes salivaires, le pancréas, le foie et la vésicule biliaire. Ces organes digestifs coopèrent pour réduire les aliments ingérés en petites molécules nutritives qui peuvent être absorbées dans le sang et distribuées à toutes les cellules de l'organisme.

Le corps humain compte onze systèmes: circulatoire, digestif, respiratoire, urinaire, squelettique, musculaire, tégumentaire, immunitaire, nerveux, endocrine et reproducteur (● Figure 1-4). Les chapitres 4 à 18 examinent en détails ces systèmes.

### Le niveau de l'organisme: les systèmes corporels forment un organisme fonctionnel complet

Chaque système corporel dépend du fonctionnement propre des autres systèmes pour pouvoir assumer ses responsabilités spécifiques. Le corps entier d'un organisme multicellulaire – un seul individu vivant, indépendant – comporte un grand nombre de systèmes corporels structurellement et fonctionnellement liés en une entité qui est séparée de son environnement extérieur. Le corps est donc constitué de cellules vivantes organisées en systèmes contribuant à la vie.

À l'heure actuelle, de nombreux chercheurs étudient des moyens de réparer ou de remplacer des tissus ou des organes qui ne sont plus en mesure de remplir leurs rôles vitaux en raison de maladie, de traumatisme ou du vieillissement (voir l'encadré: Pour en savoir plus). Chaque chapitre comprend des encadrés de ce type, dans lesquels des sujets connexes de grand intérêt sont exposés de façon approfondie, tels que les effets de l'environnement, le vieillissement, des questions éthiques, la physiologie de l'exercice, de nouvelles découvertes sur des maladies, des considérations historiques, etc.).

Focalisons-nous dès à présent sur la manière dont les différents systèmes corporels coopèrent en vue de maintenir les conditions internes nécessaires à la vie.

## Le concept d'homéostasie

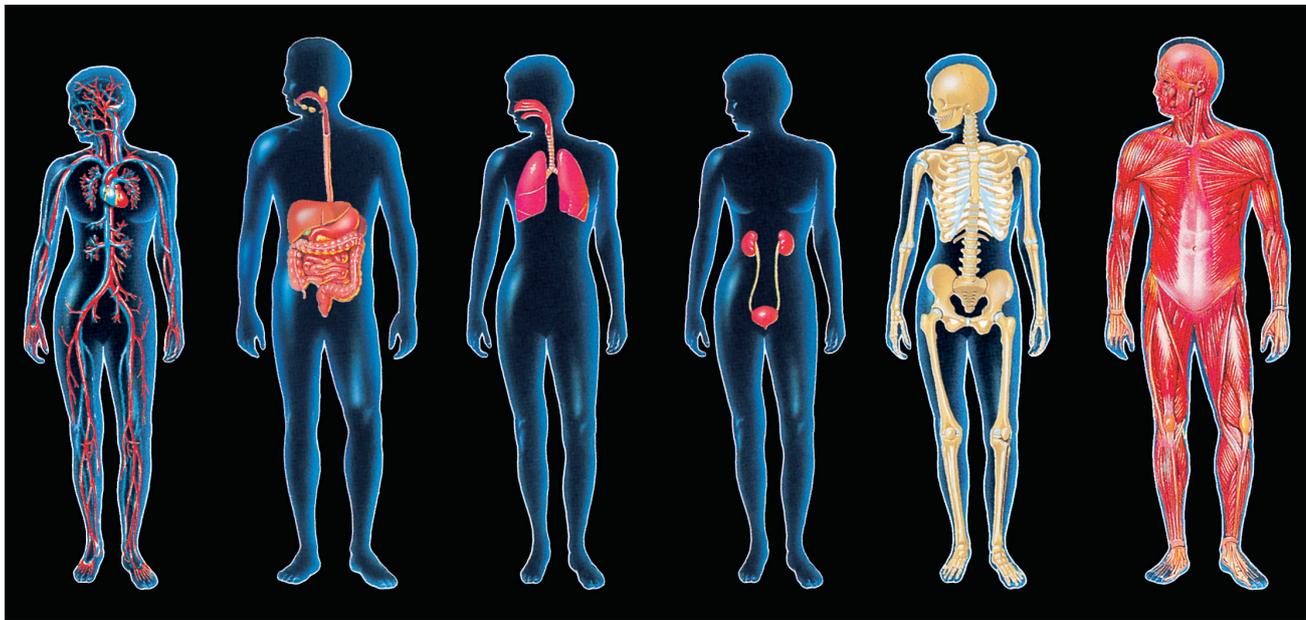
Chaque cellule étant dotée des propriétés essentielles lui permettant de survivre, comment se fait-il que la survie de l'organisme dépende de l'accomplissement de tâches spécialisées réalisées par des systèmes organisés? Les cellules d'un organisme multicellulaire contribuent à la survie de l'organisme entier et ne peuvent vivre et fonctionner sans la contribution d'autres cellules de cet organisme parce que la plupart d'entre elles ne sont pas directement en rapport avec l'environnement extérieur. L'**environnement extérieur** est le milieu environnant dans lequel un organisme vit. Un organisme unicellulaire, par exemple une amibe, peut se procurer directement les nutriments et l'O<sub>2</sub> dans son environnement immédiat et y rejeter ses déchets. Une cellule quelconque d'un organisme multicellulaire, par exemple une cellule musculaire, n'est pas en mesure de faire de tels échanges avec l'environnement extérieur dont elle est séparée. Comment une cellule musculaire peut-elle réaliser des échanges indispensables et vitaux pour elle avec un environnement extérieur avec lequel elle n'a pas de contact? La réponse est l'existence d'un **environnement interne** aqueux avec lequel les cellules sont directement en contact. L'environnement interne est le liquide qui entoure les cellules et par lequel elles réalisent les échanges qui les maintiennent en vie.

### Les cellules de l'organisme sont en contact avec un environnement interne très contrôlé

Le liquide contenu dans l'ensemble des cellules est le **liquide intracellulaire (LIC)** et le liquide qui est à l'extérieur des cellules est le **liquide extracellulaire (LEC)** (*intra* signifie «au-dedans» et *extra* signifie «au dehors»). Il faut bien noter que le liquide extracellulaire est à l'extérieur des cellules mais à l'intérieur de l'organisme. Le liquide extracellulaire est donc l'environnement interne de l'organisme: on vit dans l'environnement extérieur mais nos cellules vivent dans l'environnement interne à l'organisme.

Le liquide extracellulaire est fait de deux constituants: le **plasma**, la partie liquide du sang, et le **liquide interstitiel**, qui entoure et baigne les cellules (*inter* signifie «entre», *stitial* signifie «qui maintient») (● Figure 1-5).

Quelque éloignée qu'une cellule soit de l'environnement extérieur, elle peut effectuer des échanges vitaux avec son propre environnement interne. À leur tour, les systèmes spécifiques à l'organisme transfèrent des matériaux entre l'environnement extérieur et l'environnement interne, de sorte que la composition de l'environnement interne reste compatible avec la vie et le fonctionnement des cellules. Par exemple, le tube digestif transporte de l'environnement vers le sang les nutriments nécessaires à toutes les cellules. De même le système respiratoire transporte l'O<sub>2</sub> de l'environnement vers le sang. Le système circulatoire distribue les nutriments et l'O<sub>2</sub> dans tout l'organisme. Des échanges de matière ont lieu entre le plasma et le liquide interstitiel à travers les capillaires, les plus petits et fins vaisseaux sanguins. Il s'ensuit que les nutriments et l'O<sub>2</sub> prélevés dans l'environnement aboutissent dans le liquide interstitiel qui baigne les cellules. Celles-ci à leur tour prélèvent ces substances vitales dans le liquide interstitiel. De même, les déchets produits par les cellules sont relâchés dans le liquide interstitiel, captés par le sang et transportés vers les organes spécialisés dans l'élimination des déchets de l'environnement interne vers



**Appareil circulatoire:**  
cœur, vaisseaux sanguins, sang

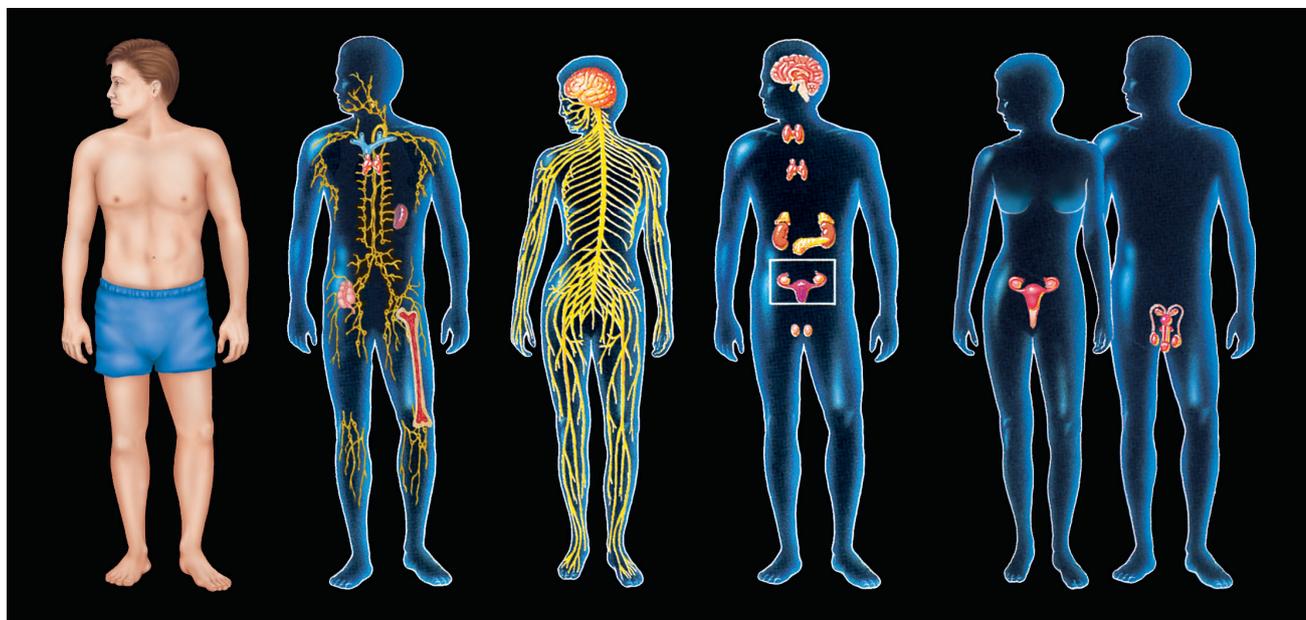
**Système digestif:**  
bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestin grêle, gros intestin, glandes salivaires, pancréas exocrine, foie, vésicule biliaire

**Appareil respiratoire:**  
nez, pharynx, larynx, trachée, bronches, poumons

**Appareil urinaire:**  
reins, uretères, vessie, urètre

**Squelette:** os, cartilage, articulations

**Système musculaire:**  
muscles squelettiques



**Système tégumentaire:**  
peau, poils, ongles

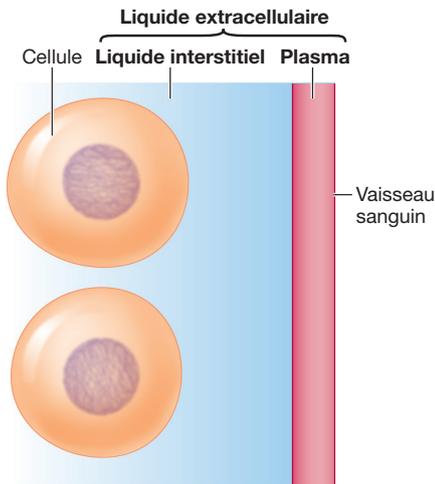
**Système immunitaire:**  
ganglions lymphatiques, thymus, moelle osseuse, amygdales, végétations adénoïdes, rate, appendice et, non représentés, globules blancs du sang et tissu lymphoïde du tube digestif

**Système nerveux:**  
encéphale, moelle épinière, nerfs périphériques et, non représentés, organes des sens spéciaux

**Système endocrine:**  
tous tissus sécréteurs d'hormone comprenant l'hypothalamus, l'hypophyse, la thyroïde, les surrénales, le pancréas endocrine, les gonades, les reins, l'épiphyse et, non représentés, les parathyroïdes, l'intestin, le cœur et la peau

**Appareil reproducteur:**  
*Masculin:* testicule, pénis, prostate, vésicules séminales, glandes bulbo-urétrales et canaux associés  
*Féminin:* ovaires, oviductes, utérus, vagin, seins

● **FIGURE 1-4** Les constituants de l'organisme.



● **FIGURE 1-5** Les constituants du liquide extracellulaire (environnement interne).

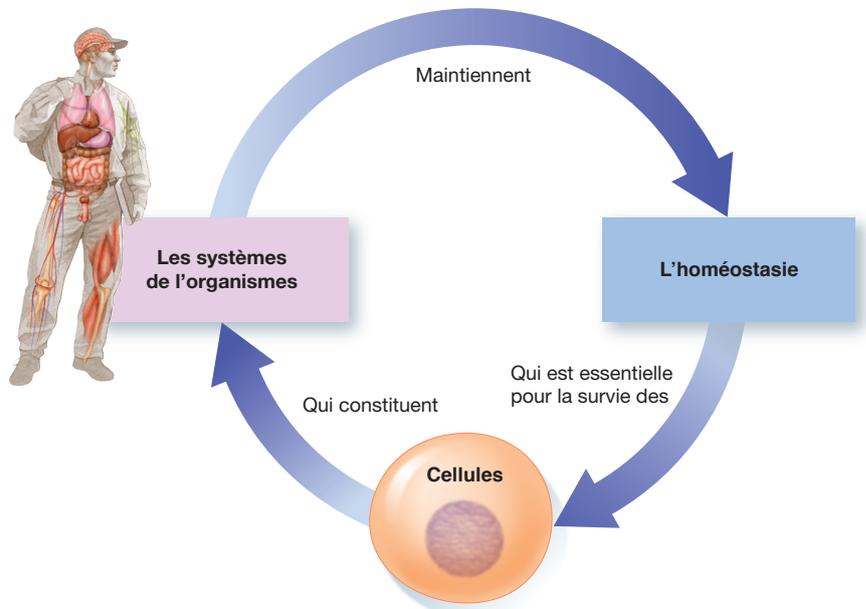
l'environnement extérieur. Les poumons éliminent le CO<sub>2</sub> présent dans le sang et les reins éliminent dans les urines les autres déchets.

Donc, une cellule de l'organisme prélève ses nutriments dans son environnement aqueux et rejette ses déchets dans ce même environnement, juste comme le fait une amibe. La différence fondamentale repose sur le fait que chaque cellule de l'organisme contribue à la stabilité du milieu interne de manière à ce que celui-ci maintienne l'existence de toutes les cellules de l'organisme. À l'opposé, une amibe ne fait rien pour réguler son environnement.

### Les systèmes de l'organisme maintiennent l'homéostasie, un état d'équilibre dynamique de l'environnement interne

Les cellules de l'organisme ne peuvent vivre et fonctionner que si le liquide extracellulaire est compatible avec leur survie; par conséquent, la composition chimique et les propriétés physiques de l'environnement interne doivent être maintenues dans d'étroites limites. Au fur et à mesure que les cellules prélèvent des nutriments et de l'O<sub>2</sub> dans leur environnement immédiat, celui-ci doit être constamment réapprovisionné de ces matériaux essentiels. De même il faut que les déchets soient continuellement éliminés de manière à ce qu'ils ne deviennent pas toxiques. D'autres éléments du milieu intérieur sont importants pour la survie des cellules et doivent donc aussi rester relativement constants, comme la température par exemple. Le maintien d'un environnement interne relativement stable est appelé **homéostasie** (*homeo* signifie « le même »; *stasie* « maintenir ou rester »).

Les fonctions de chacun des systèmes de l'organisme contribuent à l'homéostasie, maintenant ainsi le milieu interne



● **FIGURE 1-6** L'interdépendance des cellules, des systèmes de l'organisme et de l'homéostasie. L'homéostasie est indispensable à la survie des cellules, les cellules constituent les systèmes de l'organisme, et les systèmes de l'organisme maintiennent l'homéostasie.

dans l'état nécessaire à ce que chaque cellule survive et fonctionne. Les cellules, à leur tour, constituent les systèmes de l'organisme. C'est le thème central et fondamental de la physiologie et le fil conducteur de ce livre: *l'homéostasie est essentielle à la survie de chacune des cellules, et chacune de celles-ci contribue, en tant que partie d'un système et par son activité propre, à la stabilité du milieu interne qui leur est commun à toutes* (● Figure 1-6).

Que le milieu interne doive être relativement stable ne veut pas dire que sa composition, sa température, et d'autres propriétés, sont absolument constantes. Des facteurs externes et internes menacent en permanence l'homéostasie. Quand, par suite d'un événement quelconque, le milieu intérieur s'écarte des conditions optimales, des rétroactions appropriées se produisent pour rétablir celles-ci. Par exemple, la chute de la température du corps par un jour froid (un facteur externe) tend à faire baisser la température du corps. En réponse, le centre de contrôle de la température situé dans le cerveau déclenche des mécanismes compensateurs – tels que le frisson – afin de faire remonter la température vers sa valeur normale. À l'opposé, la production accrue de chaleur par les muscles au travail au cours de l'exercice musculaire (un facteur interne) tend à faire monter la température du corps. En réponse, le centre de contrôle de la température déclenche la sudation et d'autres mesures correctrices afin de ramener la température vers sa valeur normale.

Il ne faut donc pas considérer l'homéostasie comme un état immuable, mais comme un état d'équilibre dynamique dont les variations sont minimisées par des réponses correctrices. Le terme *dynamique* se réfère au fait que chaque élément régulé homéostatiquement est l'objet de variations continues tandis que *état d'équilibre* implique que ces changements ne s'écartent pas trop d'une constante, ou d'un niveau stable. Cette situation est comparable aux ajustements

Sherwood

# Physiologie humaine

« Apprendre et comprendre comment fonctionne l'organisme en 750 pages en couleurs, couvrant toutes les grandes fonctions physiologiques »

## Nouveautés et adaptations de la 3<sup>e</sup> édition

Dans cette 3<sup>e</sup> édition près de 90 % des figures ont été retouchées. La plupart des images des cellules et des figures anatomiques sont nouvelles, elles sont plus réalistes et en perspective.

Dans cette édition, des fiches de révision pour chaque chapitre ont été ajoutées à la fin du livre afin que les étudiants puissent réviser les points clés. Des problèmes de réflexion permettent aux étudiants d'analyser des cas cliniques et des symptômes à partir de leurs connaissances.

## Un contenu riche et pédagogique

Tout est mis en œuvre, dans ce livre, pour aider l'étudiant dans son apprentissage : des contenus riches, détaillés et actuels ; de nombreuses aides et précisions à propos de la théorie ainsi qu'une structure claire et logique. De plus, la théorie est ponctuée d'analogies et de références à l'expérience quotidienne.

## Des schémas et illustrations de qualité

Les schémas et illustrations sont proposés dans des couleurs nettes et de qualité. Les couleurs utilisées respectent celles

observées dans la réalité pour une meilleure compréhension et intégration des informations.

## Un guide de révision

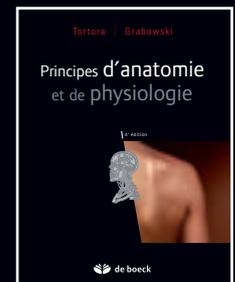
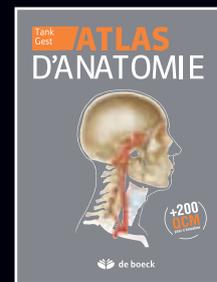
Cet ouvrage a été pensé de manière à favoriser l'apprentissage de la physiologie et tout particulièrement l'homéostasie. Des notes cliniques viennent ponctuer le discours théorique, des exercices de révision sont disponibles à la fin de chaque chapitre et, à la fin du livre, se trouvent des compléments d'informations au sujet de chaque chapitre, nommés « cartes d'étude ».

## Traduction de l'édition américaine par Fabien Ectors

Il est médecin et docteur en Sciences Embryologiques. Il est responsable de la plate-forme de transgénèse mammalienne de l'ULg et membre des centres de recherche GIGA (Groupe Interdisciplinaire de Génoprotéomique Appliquée) et FARAH (Fundamental and Applied Research for Animal & Health) de l'ULg

- Des exercices de révision à la fin de chaque chapitre
- Des illustrations plus réalistes
- Des notes cliniques sur la physiopathologie et la physiologie clinique
- Des tableaux récapitulatifs pratiques pour étudier
- Des fiches de résumés à la fin du livre

## Chez le même éditeur



 de boeck

ISBN : 9782804189969



SHERWOOD

<http://noto.deboeck.com> : la version numérique de votre ouvrage

- 24h/24, 7 jours/7
- Offline ou online, enregistrement synchronisé
- Sur PC et tablette
- Personnalisation et partage

[www.deboecksuperieur.com](http://www.deboecksuperieur.com)