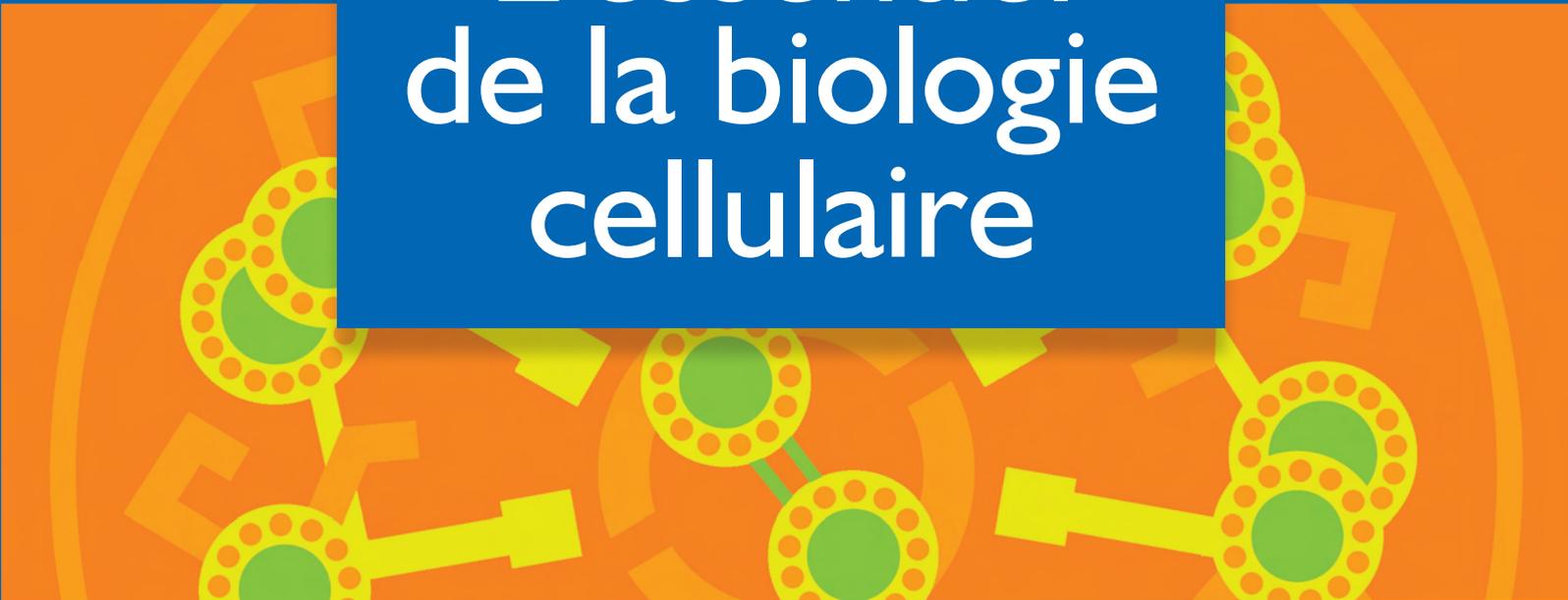


3^e édition

L'essentiel de la biologie cellulaire



ALBERTS
BRAY
HOPKIN
JOHNSON
LEWIS
RAFF
ROBERTS
WALTER



Médecine Sciences
Publications

Lavoisier

Chez le même éditeur

Biologie moléculaire de la cellule, 5^e édition, par B. Alberts, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts et P. Walter

Biologie moléculaire de la cellule, 5^e édition, Livre d'exercices, par J. Wilson et T. Hunt

Biologie moléculaire et médecine, par J.-C. Kaplan et M. Delpech

Manuel de poche de biologie cellulaire, par H. Plattner et J. Hentschel

Manuel de poche de microbiologie médicale, par F.H. Kayser, E.C. Böttger, R.M. Zinkernagel, O. Haller, J. Eckert et P. Deplazes

Biochimie, par L. Stryer, J. Berg et J. Tymoczko

Biochimie et biologie moléculaire, par P. Kamoun, A. Lavoinnie et H. de Verneuil

Aide-mémoire de biochimie et biologie moléculaire, par P. Kamoun

Exercices et problèmes de biochimie, par P. Kamoun, C. Dode, M. Jeanpierre et D. Rabier

Biochimie humaine, par F. Horn, G. Lindenmeier, C. Grillhöst, I. Moc, S. Berghold, N. Schneider et B. Münster

Atlas de poche de biochimie, par J. Koolman et K.-H. Röhm

Immunologie, par L. Chatenoud et J.-F. Bach

Génomes, par T.A. Brown

Génétique moléculaire humaine, par T. Strachan et A. Read

Génétique médicale – Thompson & Thompson, par M.W. Thompson, R.R. McInnes et H. Willard

Génétique des populations par D.L. Hartl

Atlas de poche de génétique, par E. Passarge

Exercices et problèmes de génétique, par G. Broussal, B. M'Batchi et P. Viaud

Atlas de poche de biotechnologie et de génie génétique, par R.D. Schmid

Le monde du vivant, par W.K. Purves, G.H. Orians, H.C. Heller et D. Sadava

Introduction à la neurobiologie moléculaire, par Z.W. Hall

Traité de médecine, par P. Godeau, S. Herson, P. Cacoub et J.-C. Piette

Principes de médecine interne Harrison, par E. Braunwald, A.S. Fauci, D.L. Kasper, S.L. Hauser, D.L. Longo et J.L. Jameson

La petite encyclopédie médicale Hamburger, par M. Leporrier

Dictionnaire français-anglais/anglais-français des termes médicaux et biologiques et des médicaments, par G. S. Hill

L'anglais médical : spoken and written medical English, par C. Coudé et X.-F. Coudé

Guide de conversation médicale français, anglais, allemand, par C. Coudé, F.-X. Coudé et K. Kassmann

L'ESSENTIEL DE LA BIOLOGIE CELLULAIRE

3^e édition

**Alberts
Bray
Hopkin
Johnson
Lewis
Raff
Roberts
Walter**

Traduit de l'américain par

Irène Mowszowicz

Maître de Conférences des Universités, Praticien hospitalier
Service de Biochimie, Hôpital Necker-Enfants Malades, Paris

Françoise Wright

Maître de Conférences des Universités, Praticien hospitalier
Service de Biochimie, Faculté de Médecine Pitié-Salpêtrière, Paris

Médecine Sciences

Publications

<http://www.medecine.lavoisier.fr>

Bruce Alberts a obtenu son Ph.D. à l'Université de Harvard et est Professeur de Biochimie et Biophysique à l'Université de Californie, San Francisco. Il est rédacteur en chef du magazine *Science*. Pendant 12 ans il a été Président la U.S. National Academy of Sciences (1993-2005).

Dennis Bray a obtenu son Ph.D. à l'Institut de Technologie du Massachusetts et est actuellement Professeur émérite à l'Université de Cambridge. En 2006 il a reçu le Microsoft European Science Award.

Karen Hopkin a obtenu son Ph.D. de Biochimie au Albert Einstein College of Medicine et elle est rédactrice scientifique à Somerville, Massachusetts.

Alexander Johnson a obtenu son Ph.D. à l'Université de Harvard et est Professeur de Microbiologie et Immunologie, et Directeur du Biochemistry, Cell Biology, Genetics, and Developmental Biology Graduate Program de l'Université de Californie, San Francisco.

Julian Lewis a obtenu son D.Phil. à l'Université d'Oxford et est Directeur scientifique au London Research Institute of Cancer Research, Royaume-Uni.

Martin Raff a obtenu son Ph.D. à l'Université McGill et travaille au Medical Research Council Laboratory for Molecular Cell Biology et au Département de Biologie de l'University College de Londres.

Keith Roberts a obtenu son Ph.D. à l'Université de Cambridge et est Professeur émérite au John Innes Center, Norwich.

Peter Walter a obtenu son Ph.D. à l'Université Rockefeller de New York et est Professeur et Directeur du Département de Biochimie et Biophysique de l'Université de Californie, San Francisco, et Chercheur au Howard Hughes Medical Institute.

Ce livre contient des informations issues de sources authentiques et hautement contrôlées. Le matériel reproduit est cité avec autorisation, et les sources sont indiquées. Un grand nombre de références sont listées. Tous les efforts ont été faits pour publier des données et des informations fiables, mais les auteurs et l'éditeur ne peuvent pas être tenus pour responsables de la validité de tout le matériel ou des conséquences de son usage.

Cet ouvrage est paru dans son édition américaine sous le titre :

Essential cell biology, third edition.

© 2010, 2004, by Bruce Alberts, Dennis Bray, Karen Hopkin, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts and Peter Walter.

© 1998 by Bruce Alberts, Dennis Bray, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts and Peter Walter.

All rights reserved.

Traduction autorisée de l'édition américaine publiée par :

Garland Science, part of Taylor & Francis Group LLC

711 Third Ave., Floor 8, New York, NY 10017, USA

Direction éditoriale : Emmanuel Leclerc

Édition : Brigitte Peyrot

Couverture : Isabelle Godenèche

Fabrication : Estelle Perez-Le Du

Composition : Nord Compo, Villeneuve d'Ascq

Impression et brochage : L.E.G.O. S.p.a., Lavis, Italie

Médecine Sciences Publications

Lavoisier

11, rue Lavoisier, 75008 Paris

Pour être informé(s) de nos parutions, consultez le site :

www.medecine.lavoisier.fr

ISBN : 978-2-257-20402-8

© 2012, 2005, 1999, Lavoisier SAS

Préface

Il n'existe, dans notre monde, aucune forme de matière plus étonnante qu'une cellule vivante : minuscule, fragile, merveilleusement compliquée, continuellement renouvelée, et préservant pourtant dans son ADN un stock d'informations qui datent de plus de trois milliards d'années, d'un temps où notre planète s'était à peine refroidie à partir des matériaux brûlants du système solaire naissant. Sans cesse réinventée et diversifiée par l'évolution, extraordinairement changeante et adaptable, la cellule retient en son cœur une machinerie chimique complexe, qui s'autoreproduit, et qui est la même, répétée inlassablement dans chaque organisme vivant à la surface de la Terre, dans chaque animal, chaque feuille, chaque bactérie dans un morceau de fromage, chaque levure dans un tonneau de vin.

La curiosité au moins, à défaut d'autre chose, devrait nous pousser à étudier la biologie cellulaire ; mais la biologie cellulaire devrait aussi faire partie de l'éducation de tout le monde pour des raisons pratiques. Nous sommes faits de cellules, nous nous nourrissons de cellules, et notre monde est habitable grâce aux cellules. Nous avons besoin de comprendre la biologie cellulaire pour nous comprendre nous-mêmes, pour prendre soin de notre santé, de nos stocks de nourriture et pour protéger nos écosystèmes en danger. Le défi, pour un scientifique, est d'approfondir nos connaissances et de trouver de nouveaux moyens de les appliquer. Mais nous tous, en tant que citoyens, devons avoir quelques connaissances pour affronter le monde moderne, depuis nos problèmes de santé personnels jusqu'aux grands débats publics sur les changements de l'environnement, les technologies biomédicales, l'agriculture et les maladies épidémiques.

La biologie cellulaire est un grand sujet et elle a des liens avec presque toutes les autres branches de la science. L'étude de la biologie cellulaire représente donc une bonne éducation scientifique. Toutefois, il est facile de se perdre dans les détails et de se laisser déborder par un excès d'information et de terminologie technique. Dans ce livre, nous nous sommes donc efforcés de produire un récit digeste, simple et engageant, mais qui ne porte que sur les principes essentiels. Nous essayerons d'expliquer, d'une manière compréhensible, même pour un lecteur qui approche la biologie moderne pour la première fois, le fonctionnement de la cellule vivante : montrer comment les molécules de la cellule – surtout les molécules de protéines, d'ADN et d'ARN – coopèrent pour créer ce système remarquable qui se nourrit, répond quand il est stimulé, se déplace, grossit, se divise et se reproduit.

La nécessité d'une description claire des principes essentiels de la biologie cellulaire nous est apparue pendant que nous rédigeons *Biologie Moléculaire de la Cellule (BMC)*, maintenant dans sa cinquième édition. *BMC* est un gros livre, destiné à des étudiants de troisième cycle, qui se spécialisent en sciences de la vie ou en médecine. De nombreux étudiants ou des personnes formées dans un autre domaine, s'ils ont besoin d'une introduction à la biologie cellulaire, trouveraient *BMC* trop détaillé. *L'Essentiel de la Biologie Cellulaire (EBC)*, au contraire, a été écrit pour fournir les principes fondamentaux de la biologie cellulaire à quiconque veut comprendre les grands problèmes biomédicaux et biologiques qui affectent notre vie.

Dans cette troisième édition, nous avons mis à jour chaque partie du livre, avec de nouvelles données sur la structure des chromosomes, l'épigénétique,

les micro-ARN et les ARN interférents, le contrôle de la qualité des protéines, la reconnaissance de cellule à cellule, les variations génétiques, les cellules souches et leur potentiel médical, les traitements rationnels des cancers, l'évolution du génome et beaucoup d'autres sujets. Nous avons amélioré notre discussion des problèmes énergétiques et thermodynamiques, réuni le cycle cellulaire et la division cellulaire en un même chapitre, et mis à jour les encadrés (« Comment le savons-nous ») qui décrivent les expériences illustrant la façon dont les biologistes abordent les questions importantes et comment leurs résultats expérimentaux génèrent des idées nouvelles.

Comme auparavant, les schémas dans *EBC* insistent sur les concepts principaux et sont dépouillés des détails superflus. Les termes principaux introduits dans chaque chapitre sont indiqués en gras quand ils apparaissent pour la première fois, et sont réunis à la fin du livre en un grand glossaire illustré. Nous n'avons pas donné de références pour des lectures supplémentaires : ceux qui désirent approfondir un sujet sont invités à consulter les listes de références dans *BMC* ou dans les revues récentes de la littérature, que l'on peut trouver par les moteurs de recherche puissants tels que Pubmed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) ou Google Scholar (<http://scholar.google.com>).

Les nombreuses questions, présentées dans les marges du texte et à la fin de chaque chapitre, sont une des caractéristiques essentielles de ce livre. Elles sont conçues pour pousser les étudiants à réfléchir à ce qu'ils ont lu, et à les encourager à faire une pause pour tester leur compréhension. Beaucoup de ces questions appellent l'étudiant à placer les acquisitions nouvelles dans un contexte biologique plus large et quelques-unes ont plus d'une réponse possible. D'autres invitent à la spéculation. Les réponses à toutes les questions sont données à la fin du livre ; elles présentent très souvent un commentaire, ou une perspective différente, du matériel proposé dans le corps du texte.

Pour ceux qui veulent développer une attitude plus active envers la biologie cellulaire, ou qui voudraient mieux comprendre comment les chercheurs tirent des conclusions des expériences qu'ils mènent, nous recommandons le livre *Biologie moléculaire de la cellule, 5^e édition : Livre d'exercices* de John Wilson et Tim Hunt. Bien qu'écrit en parallèle avec *BMC*, il contient des questions à tous les niveaux de difficultés et constitue une mine d'or d'exercices de réflexion pour les enseignants et pour les étudiants. Nous en avons tiré certaines questions pour *EBC* et nous en remercions les auteurs.

Comme dans *BMC*, chaque chapitre de *EBC* est le produit d'un effort collectif, les versions individuelles circulant d'un auteur à l'autre. De plus, de nombreuses personnes nous ont aidés et leur participation est reconnue dans les remerciements qui suivent. En dépit de tous nos efforts, il est inévitable que ce livre contienne des erreurs. Nous encourageons les lecteurs qui les trouveront à nous les signaler (science@garland.com), pour que nous puissions les corriger dans une réimpression future.

Remerciements

Les auteurs remercient les nombreux professeurs et étudiants du monde entier qui ont contribué à la création de cette troisième édition. Nous remercions en particulier les étudiants qui ont participé aux groupes d'étude : ils nous ont fourni un retour inestimable sur leur expérience de l'utilisation de ce livre et beaucoup de leurs suggestions ont été utilisées dans cette édition.

Nous voudrions aussi remercier les professeurs qui nous ont aidés à organiser ces groupes dans leurs écoles : Chris Brandl (University of Western Ontario), David L. Gard (University of Utah), Juliet Spencer (University of San Francisco), Keren Witkin et Linda Huang (University of Massachusetts). Nous apprécions grandement leur hospitalité.

Nous avons également reçu des rapports détaillés des enseignants qui ont utilisé la deuxième édition, et nous voudrions les remercier pour leur travail : Margarida D. Amaral (University of Lisbon), Lynne Arneson (American University), Karl Aufderheide (Texas A&M University), David K. Banfield (The Hong Kong University of Science and Technology), Stephen F. Baron (Bridgewater College), Deborah Bielser (University of Illinois at Urbana-Champaign), Barbara D. Boyan (Georgia Institute of Technology), Chris Brandl (University of Western Ontario), Keith Brown (University of Bristol), Jane Bruner (California State University Stanislaus), Patrick Brian (Middlesex Community College), Sharon K. Bullock (Virginia Commonwealth University), Mike Clemens (St. George's Hospital Medical School, University of London), Anne Cordon (University of Toronto at Mississauga), Andrew Dalby (University of Exeter), Dan Eshel (Brooklyn College), Nicolas Forraz (Kingston University), David L. Gard (University of Utah), Mark Grimes (University of Montana), Hollie Hale-Donze (Louisiana State University), Lynn Hannum (Colby College), Na'il M. Hasan (Birzeit University), Jeannette M. Loutsch (Arkansas State University), Charles Mallery (University of Miami), Kathy Martin-Troy (Central Connecticut State University), Gordon T.A. McEwan (Institute of Medical Sciences, University of Aberdeen), Colin McGuckin (Kingston University), Gerard McNeil (York College, The City University of New York), Roger W. Melvold (University of North Dakota, School of Medicine & Health Sciences), Cristina Murga (Universidad Autonoma de Madrid), T. Page Owen, Jr. (Connecticut College), Martin Rumsby (Univer-

sity of York), Esther Siegfried (University of Pittsburgh at Johnstown), Roger D. Sloboda (Dartmouth College), Julio Soto (San Jose State University), Juliet Spencer (University of San Francisco), Paul H. Tomasek (California State University Northridge), Gary Wessel (Brown University), Esther F. Wheeler (Texas Tech University), Keren Witkin (University of Massachusetts, Boston).

Nous devons des remerciements particuliers à David Morgan pour son aide dans la réorganisation et la reformulation du chapitre sur la division cellulaire.

Nous sommes très reconnaissants aux lecteurs qui nous ont signalé les erreurs qu'ils ont trouvées dans l'édition précédente.

De nombreux membres des éditions Garland ont contribué à la création de ce livre, et grâce à eux, notre travail a été un plaisir. Nous avons tout d'abord une dette spéciale envers Michael Morales, notre éditeur, qui a coordonné toute l'entreprise. Il a organisé les réunions initiales et les groupes d'étude, a suivi de près chaque auteur sur ses chapitres, en nous poussant à accélérer quand nous prenions du retard. Sigrid Masson s'est occupé de la succession des chapitres au cours de la production, a relu les épreuves du livre entier, et a supervisé l'écriture de la banque de questions qui l'accompagne. Kate Ghezzi et Monica Toledo ont apporté une assistance éditoriale. Nigel Orme a redessiné les dessins originaux créés par l'auteur Keith Roberts sur ordinateur ou parfois à la main, avec habileté et flair. Matt McClements a assuré le design du livre. Emma Jeffcock a magnifiquement réalisé le livre entier et incorporé méticuleusement nos corrections continues. Eleanor Lawrence et Sherry Granum ont réalisé le montage individuel de chaque chapitre, arrondissant les angles, et Eleanor a non seulement relu le livre du début à la fin pour assurer sa clarté et sa cohérence, mais elle a aussi revu et augmenté le Glossaire. Adam Sendroff et Lucy Brodie ont réuni les informations en retour des lecteurs et lancé le livre dans le vaste monde. Denise Schanck, vice-présidente de Garland Science, a orchestré le tout avec beaucoup de finesse et de diplomatie. Nous remercions toutes les personnes citées dans cette longue liste.

Enfin, et ce n'est pas le moins important, nous sommes encore et toujours reconnaissants envers nos familles et nos collègues pour leur soutien et leur tolérance.

Matériel destiné aux enseignants et aux étudiants

Figures de L'Essentiel de la biologie moléculaire, Troisième édition

Les figures de ce livre sont disponibles en deux formats commodes : Powerpoint et JPEG. On peut les télécharger sur Internet à partir de Classwire™; les figures JPEG peuvent être trouvées en utilisant le numéro de la figure, son nom ou les mots clés donnés dans les légendes des figures, dans le livre.

Plans de conférences sous forme de figures

Les titres des sections, les concepts principaux et les figures du texte ont été intégrés en une présentation PowerPoint. Ces présentations seront utiles aux professeurs pour commencer leur conférence. Ce matériel est disponible sur Classwire™.

Banque de questions

Rédigée par Linda Huang, Université du Massachusetts, Boston, et Cheryl D. Vaughan, Harvard University Division of Continuing Education, la banque de questions revue et augmentée contient différents types de questions : à choix multiples, blancs à remplir, vrai/faux, associations, rédac-

tions et questions de raisonnements. Il y a environ 50 à 60 questions par chapitre et un grand nombre des questions à choix multiples peuvent être utilisées avec un système de réponse personnel. La banque de questions a été créée dans l'idée qu'une bonne question d'examen doit non seulement tester la capacité de l'étudiant à mémoriser mais aussi à réfléchir et à intégrer l'information pour vérifier qu'il a bien compris. La banque contient un échantillon de questions qui peuvent être utilisées telles quelles ou inspirer l'enseignant pour l'aider à créer ses propres questions. Les enseignants peuvent obtenir la banque de questions par e-mail auprès de science@garland.com.

Classwire™

Le système d'organisation de cours Classwire™, disponible sur www.classwire.com/garlandscience, permet aux enseignants de construire facilement leurs cours sur Internet. Il sert aussi d'archives online pour les enseignants. Après vous être inscrit sur Classwire™, vous pourrez télécharger toutes les figures du livre ainsi que les films du DVD ; d'autres matériaux sont également disponibles sur Classwire™. Contactez science@garland.com pour plus d'information sur le système Classwire. (Classwire™ est une marque déposée de Chalkfree, Inc.)

Sommaire abrégé et éléments particuliers

Chapitre 1	Introduction aux cellules	1
Planche 1-1	Microscopies optique et électronique	8-9
Planche 1-2	Architecture de la cellule	25
	Comment le savons-nous : Les mécanismes communs de la vie	30-31
Chapitre 2	Composants chimiques des cellules	39
	Comment le savons-nous : Qu'est-ce qu'une macromolécule ?	60-61
Planche 2-1	Liaisons et groupements chimiques	64-65
Planche 2-2	Propriétés chimiques de l'eau	66-67
Planche 2-3	Description de quelques types de sucre	68-69
Planche 2-4	Acides gras et autres lipides	70-71
Planche 2-5	Les 20 acides aminés constituant les protéines	72-73
Planche 2-6	Généralités sur les nucléotides	74-75
Planche 2-7	Principaux types de liaisons faibles non covalentes	76-77
Chapitre 3	Énergie, catalyse et biosynthèse	81
Planche 3-1	Énergie libre et réactions biologiques	94-95
	Comment le savons-nous : L'utilisation de la cinétique enzymatique permet de décrire et modifier les voies métaboliques	101-103
Chapitre 4	Structure et fonction des protéines	119
Planche 4-1	Quelques exemples des fonctions générales des protéines	120
Planche 4-2	Quatre manières différentes de décrire une petite protéine	128-129
Planche 4-3	Production et utilisation des anticorps	144-145
	Comment le savons-nous : Mise en évidence de la structure des protéines	158-160
Planche 4-4	Fractionnement des extraits cellulaire	164-165
Planche 4-5	Séparation des protéines par chromatographie	166
Planche 4-6	Séparation des protéines par électrophorèse	167
Chapitre 5	ADN et chromosomes	171
	Comment le savons-nous : Les gènes sont constitués d'ADN	174-176
Chapitre 6	Réplication, réparation et recombinaison de l'ADN	197
	Comment le savons-nous : Nature de la réplication	200-202
Chapitre 7	De l'ADN à la protéine : lecture du génome par les cellules	231
	Comment le savons-nous : Déchiffrage du code génétique	248-249
Chapitre 8	Contrôle de l'expression des gènes	269
	Comment le savons-nous : Régulation de l'expression des gènes, histoire de Eve	282-284

Chapitre 9 Évolution des gènes et des génomes	297
Comment le savons-nous : Comment compter les gènes	318-319
Chapitre 10 Études des gènes et des génomes	327
Comment le savons-nous : Séquençage du génome humain	348-349
Chapitre 11 Structure des membranes	363
Comment le savons-nous : Mesure des flux membranaires	382-384
Chapitre 12 Transport membranaire	387
Comment le savons-nous : Les calamars ont révélé les secrets de l'excitabilité de la membrane	412-413
Chapitre 13 Les cellules tirent leur énergie de la nourriture	425
Planche 13-1 Détails des dix étapes de la glycolyse	430-431
Comment le savons-nous : Découverte du cycle de l'acide citrique	440-441
Planche 13-2 Cycle complet de l'acide citrique	442-443
Chapitre 14 Production d'énergie dans les mitochondries et les chloroplastes	453
Comment le savons-nous : Le couplage chimio-osmotique entraîne la synthèse d'ATP	468-469
Planche 14-1 Potentiels redox	471
Chapitre 15 Compartiments intracellulaires et transport	495
Comment le savons-nous : À la poursuite des protéines et des vésicules de transport	520-521
Chapitre 16 Communication cellulaire	531
Comment le savons-nous : Décryptage des voies de signalisation cellulaires	560-562
Chapitre 17 Cytosquelette	571
Planche 17-1 Les trois principaux types de filaments protéiques	573
Comment le savons-nous : À la poursuite des protéines motrices	586-588
Chapitre 18 Le cycle de division cellulaire	609
Comment le savons-nous : Découverte des cyclines et des Cdk	615-616
Planche 18-1 Principales étapes de la phase M dans une cellule animale	626-627
Chapitre 19 Sexe et génétique	651
Planche 19-1 Quelques bases essentielles de la génétique classique	674
Comment le savons-nous : Lecture des cartes génétiques	680-681
Chapitre 20 Communautés cellulaires : tissus, cellules souches et cancer	689
Comment le savons-nous : Comprendre les gènes qui jouent un rôle essentiel dans le cancer	725-726
Réponses aux questions	R:1
Glossaire	G:1
Index	I:1

Sommaire détaillé

Chapitre 1 Introduction aux cellules	1		
UNITÉ ET DIVERSITÉ DES CELLULES	2		
Les cellules varient énormément en apparence et en fonction	2	La levure de bière est une cellule eucaryote simple	28
Les cellules vivantes ont toutes la même chimie de base	2	<i>Arabidopsis</i> a été choisi comme plante modèle parmi 300 000 espèces	28
Toutes les cellules actuelles ont apparemment évolué à partir d'un ancêtre commun	3	Le monde animal est représenté par une mouche, un ver, une souris et l'espèce humaine	33
Les gènes fournissent les instructions commandant la forme, la fonction et le comportement complexe des cellules	5	La comparaison des séquences génomiques révèle l'héritage commun de la vie	35
LES CELLULES VUES AU MICROSCOPE	6		
L'invention du microscope optique a conduit à la découverte des cellules	6		
On peut voir au microscope les cellules, les organites et même les molécules	7		
LA CELLULE PROCARYOTE	11		
Les procaryotes sont les cellules les plus diversifiées	14		
Le monde procaryote est divisé en deux domaines : les eubactéries et les archéobactéries	15		
LA CELLULE EUKARYOTE	16		
Le noyau est la réserve d'informations de la cellule	16		
Les mitochondries génèrent, à partir de la nourriture, l'énergie permettant à la cellule de fonctionner	17		
Les chloroplastes capturent l'énergie de la lumière solaire	18		
Les membranes internes créent des compartiments cellulaires assumant des fonctions différentes	19		
Le cytosol est un gel aqueux concentré de grosses et de petites molécules	21		
Le cytosquelette est responsable du contrôle des mouvements cellulaires	22		
Le cytoplasme est loin d'être statique	23		
Les cellules eucaryotes étaient peut-être, à l'origine, des prédateurs	23		
ORGANISMES MODÈLES	26		
Les biologistes moléculaires se sont concentrés sur <i>E. coli</i>	27		
		Chapitre 2 Composants chimiques des cellules	39
		LES LIAISONS CHIMIQUES	40
	6	Les cellules sont composées d'un nombre relativement petit d'atomes	40
	7	La couche externe des électrons détermine les interactions entre les atomes	41
	11	Les liaisons ioniques se forment par gain ou perte d'électrons	44
	14	Les liaisons covalentes se forment par partage d'électrons	45
	15	La force des liaisons covalentes est variable	46
	16	Il existe différents types de liaisons covalentes	47
	16	Les attractions électrostatiques facilitent le rapprochement des molécules dans les cellules	47
	16	Les liaisons hydrogène maintiennent la cohésion des molécules d'eau	48
	17	Certaines molécules polaires forment, dans l'eau, des acides ou des bases	49
	18	LES MOLÉCULES DES CELLULES	50
	19	Une cellule est constituée de composés carbonés	50
	21	Les cellules contiennent quatre familles principales de petites molécules organiques	51
	22	Les glucides sont les sources d'énergie de la cellule et les sous-unités des polysaccharides	52
	23	Les acides gras sont les composants des membranes cellulaires	54
	23	Les acides aminés sont les sous-unités des protéines	55
	26	Les nucléotides sont les sous-unités de l'ADN et de l'ARN	56

LES MACROMOLÉCULES DE LA CELLULE	58	Il y a dans les cellules de nombreuses autres molécules pouvant servir de transporteurs activés	109
Les macromolécules sont constituées d'une séquence spécifique de sous-unités	59	La synthèse des polymères biologiques nécessite un apport d'énergie	110
Des liaisons non covalentes confèrent sa forme à une macromolécule	59		
Des liaisons non covalentes permettent à une macromolécule de se lier spécifiquement à d'autres molécules	63		
Chapitre 3 Énergie, catalyse et biosynthèse	81	Chapitre 4 Structure et fonction des protéines	119
UTILISATION DE L'ÉNERGIE PAR LES CELLULES	82	FORME ET STRUCTURE DES PROTÉINES	121
La libération d'énergie calorifique par les cellules rend possible l'ordre biologique	82	La forme d'une protéine dépend de sa séquence en acides aminés	121
Les organismes doués de photosynthèse utilisent la lumière du soleil pour synthétiser des molécules organiques	84	Les protéines se replient dans la conformation qui a le niveau d'énergie le plus bas	124
Les cellules tirent leur énergie de l'oxydation des molécules organiques	86	Les protéines présentent une grande variété de formes compliquées	125
Oxydation et réduction impliquent des transferts d'électrons	87	L'hélice α et le feuillet β sont les formes les plus fréquentes de repliement	127
ÉNERGIE LIBRE ET CATALYSE	88	Les hélices se forment facilement dans les structures biologiques	131
Les enzymes abaissent les barrières qui bloquent les réactions chimiques	89	Les feuillets β forment une structure rigide au cœur de nombreuses protéines	132
Les variations d'énergie libre nécessaires à une réaction déterminent si elle est possible ou non	91	Les protéines présentent plusieurs niveaux d'organisation	133
Les concentrations des réactifs modifient les variations d'énergie libre et la direction de la réaction	92	Quelques-unes seulement des nombreuses chaînes de polypeptides possibles seront utiles	134
Les modifications de l'énergie libre standard permettent de comparer les énergies des différentes réactions	92	Les protéines peuvent être classées en familles	135
Les cellules sont en état de déséquilibre chimique	92	Les grosses molécules de protéines contiennent souvent plus d'une chaîne polypeptidique	135
La constante d'équilibre est directement proportionnelle à ΔG°	93	Les protéines peuvent s'assembler en filaments, feuillets ou sphères	136
Dans les réactions complexes, la constante d'équilibre dépend des concentrations de tous les réactifs et de tous les produits	96	Certaines protéines ont une forme allongée fibreuse	138
La constante d'équilibre indique la force des interactions moléculaires	96	Les protéines extracellulaires sont souvent stabilisées par des liaisons covalentes croisées	138
Dans une séquence de réactions, les variations d'énergie libre s'additionnent	97	MODE DE FONCTIONNEMENT DES PROTÉINES	140
Une diffusion rapide permet aux enzymes de trouver leurs substrats	98	Toutes les protéines se lient à d'autres molécules	140
V_{\max} et K_M sont des mesures de l'activité enzymatique	99	Les sites de liaison des anticorps sont particulièrement adaptables	142
MOLÉCULES DE TRANSPORT ACTIVÉES ET BIOSYNTÈSE	104	Les enzymes sont de puissants catalyseurs très spécifiques	143
La formation d'un transporteur activé est couplée à une réaction favorable sur le plan énergétique	104	Le lysozyme illustre le mode de fonctionnement d'une enzyme	143
L'ATP est la molécule de transport activée la plus utilisée	105	La plupart des médicaments inhibent des enzymes	148
L'énergie stockée dans l'ATP est souvent utilisée pour relier deux molécules entre elles	106	De petites molécules qui se lient fortement aux protéines leur confèrent des fonctions supplémentaires	148
NADH et NADPH sont d'importants transporteurs d'électrons	107	MODE DE CONTRÔLE DES PROTÉINES	149
		Les activités catalytiques des enzymes sont souvent contrôlées par d'autres molécules	150
		Les enzymes allostériques ont des sites de liaison qui agissent les uns sur les autres	150
		La phosphorylation peut contrôler l'activité d'une protéine en provoquant un changement de sa conformation	152
		Les protéines de liaison au GTP sont aussi contrôlées par le gain ou la perte cyclique d'un groupement phosphate	153

L'hydrolyse des nucléotides permet aux protéines motrices de produire de grands déplacements dans la cellule	154	La synthèse de l'ADN commence aux origines de réplication	199
Les protéines forment souvent de volumineux complexes qui fonctionnent comme des machines protéiques	155	La synthèse d'une nouvelle molécule d'ADN commence aux fourches de réplication	203
Des modifications covalentes contrôlent la localisation et l'assemblage des machineries protéiques	156	La fourche de réplication est asymétrique	204
MOYENS D'ÉTUDE DES PROTÉINES	157	L'ADN polymérase se corrige elle-même	205
Les cellules peuvent être cultivées dans des boîtes	157	De courts fragments d'ARN servent d'amorces à la synthèse de l'ADN	206
Les techniques de purification permettent l'obtention de préparations homogènes de protéines à partir d'homogénats cellulaires	161	Au niveau des fourches de réplication, des protéines coopèrent pour former la machinerie réplivative	208
De grandes quantités de presque toutes les protéines peuvent être produites par les techniques du génie génétique	163	La télomérase réplique les extrémités des chromosomes eucaryotes	210
L'étude automatisée de la structure et des fonctions des protéines permet d'accélérer les découvertes	163	RÉPARATION DE L'ADN	211
Chapitre 5 ADN et chromosomes	171	Les mutations peuvent avoir des conséquences très graves pour une cellule ou un organisme	211
STRUCTURE ET FONCTION DE L'ADN	172	Un système de réparation des mésappariements dans l'ADN corrige les erreurs de réplication ayant échappé à la machinerie réplivative	212
Une molécule d'ADN est composée de deux chaînes de nucléotides complémentaires	173	L'ADN est continuellement endommagé dans la cellule	213
La structure de l'ADN fournit un support au mécanisme de l'hérédité	178	La stabilité des gènes est subordonnée à la réparation de l'ADN	215
STRUCTURE DES CHROMOSOMES EUCARYOTES	179	Les cassures de l'ADN du double brin peuvent être réparées rapidement mais imparfaitement	216
L'ADN des eucaryotes est empaqueté dans plusieurs chromosomes	179	La preuve de la fidélité de la réplication et des réparations de l'ADN est conservée dans les séquences génomiques	217
Les chromosomes contiennent de longs filaments composés de gènes	181	RECOMBINAISON HOMOLOGUE DE L'ADN	218
Les chromosomes se présentent sous différentes formes au cours de la vie de la cellule	182	La recombinaison homologue nécessite de longues régions comportant des séquences similaires	218
Les chromosomes d'interphase sont organisés à l'intérieur du noyau	184	La recombinaison homologue peut réparer sans faute les cassures de l'ADN double brin	218
Dans les chromosomes, l'ADN est fortement condensé	184	La recombinaison homologue permet l'échange d'information génétique au cours de la méiose	220
Les nucléosomes sont les unités de base de la structure des chromosomes eucaryotes	185	ÉLÉMENTS GÉNÉTIQUES MOBILES ET VIRUS	221
Les chromosomes présentent plusieurs niveaux d'empaquetage de l'ADN	187	Les éléments génétiques mobiles codent les composantes nécessaires à leur mobilité	222
CONTRÔLE DE LA STRUCTURE DES CHROMOSOMES	188	Le génome humain contient deux familles principales de séquences transposables	222
Des modifications dans la structure des nucléosomes permettent l'accès à l'ADN	188	Les virus sont des éléments génétiques mobiles, qui peuvent s'échapper de la cellule	223
Dans les chromosomes d'interphase, la chromatine peut être à la fois sous forme condensée et sous forme plus lâche	190	Les rétrovirus inversent le flux normal de l'information génétique	225
Les modifications de structure de la chromatine peuvent être transmises héréditairement	191	Chapitre 7 De l'ADN à la protéine : comment la cellule lit le génome	231
Chapitre 6 Réplication, réparation et recombinaison de l'ADN	197	DE L'ADN À L'ARN	232
RÉPLICATION DE L'ADN	198	Des segments de séquences ADN sont transcrites en ARN	233
La complémentarité des bases permet la réplication de l'ADN	198	La transcription produit un ARN complémentaire d'un des brins de l'ADN	234
		Plusieurs types d'ARN sont produits dans les cellules	235
		Des signaux dans l'ADN indiquent à l'ARN polymérase où commencer et où finir	236
		L'initiation de la transcription des gènes eucaryotes est un processus complexe	238

L'ARN polymérase II des eucaryotes a besoin des facteurs généraux de transcription	239	Les commutateurs de la transcription permettent aux cellules de répondre à des modifications de leur environnement	275
Les ARN des eucaryotes sont transcrits et modifiés simultanément dans le noyau	240	Les répresseurs inhibent les gènes, les activateurs les activent	276
Les gènes eucaryotes sont interrompus par des séquences non codantes	241	Un activateur et un répresseur contrôlent l'opéron <i>Lac</i>	277
Les introns sont excisés par épissage de l'ARN	242	Les régulateurs de la transcription d'un gène eucaryote contrôlent l'expression du gène à distance	278
Les ARNm matures des eucaryotes sont exportés sélectivement hors du noyau	243	L'empaquetage de l'ADN du promoteur en nucléosomes modifie l'initiation de la transcription	279
Les molécules d'ARNm sont finalement dégradées par la cellule	244		
Les cellules primitives avaient peut-être des introns dans leurs gènes	245		
DE L'ARN À LA PROTÉINE	246	MÉCANISMES MOLÉCULAIRES CONDUISANT À LA CRÉATION DE TYPES CELLULAIRES SPÉCIALISÉS	280
Une séquence d'ARNm est décodée triplet par triplet	246	Les gènes des eucaryotes sont contrôlés par des combinaisons de protéines	280
Les ARNt appariant acides aminés et codons de l'ARNm	247	Une seule protéine peut coordonner l'expression de différents gènes	281
Des enzymes spécifiques chargent l'acide aminé correct sur son ARNt	251	Le contrôle combinatoire peut créer des types cellulaires différents	285
L'ARN messager est décodé sur les ribosomes	251	Des profils stables d'expression des gènes peuvent être transmis aux cellules filles	287
Le ribosome est un ribozyme	253	Une seule protéine régulatrice de gène peut déclencher la formation d'un organe entier	288
Sur l'ARNm des codons signalent le début et la fin de la synthèse protéique	254		
Les protéines sont synthétisées sur des polyribosomes	257	CONTRÔLES POST-TRANSCRIPTIONNELS	289
Les inhibiteurs de la biosynthèse des protéines chez les procaryotes sont utilisés comme antibiotiques	257	Les ribo-commutateurs apportent une solution économique au contrôle des gènes	289
Dans la cellule, la dégradation soigneusement contrôlée des protéines permet un contrôle du taux de chaque protéine	258	Les régions non traduites des ARNm peuvent contrôler leur traduction	290
Il existe de nombreuses étapes entre l'ADN et la protéine	259	De petits ARN régulateurs contrôlent l'expression de milliers de gènes animaux et végétaux	290
		L'ARN interférant détruit les ARN double brin étrangers	291
ARN ET LES ORIGINES DE LA VIE	261	Les chercheurs peuvent utiliser les ARN interférents pour réprimer les gènes	292
L'autocatalyse est nécessaire à la vie	261		
L'ARN peut à la fois être support de l'information et catalyser des réactions chimiques	261		
L'ARN aurait précédé l'ADN au cours de l'évolution	263		
Chapitre 8 Contrôle de l'expression des gènes	269	Chapitre 9 Évolution des gènes et génomes	297
VUE GÉNÉRALE SUR L'EXPRESSION DES GÈNES	270	CRÉATION DES VARIATIONS GÉNÉTIQUES	298
Les différents types cellulaires d'un organisme multicellulaire contiennent le même ADN	270	Dans les organismes à reproduction sexuée, seules les modifications intervenant sur la lignée germinale sont transmises à la descendance	299
Les différents types de cellules produisent des ensembles différents de protéines	270	Les mutations ponctuelles sont causées par des échecs des mécanismes normaux utilisés pour copier et conserver l'ADN	300
Une cellule peut modifier l'expression de ses gènes en réponse à des signaux extérieurs	272	Les mutations ponctuelles peuvent modifier le contrôle de l'expression d'un gène	301
L'expression des gènes peut être contrôlée à différents niveaux sur la voie qui conduit de l'ADN à l'ARN et aux protéines	272	Les duplications d'ADN donnent naissance à des familles de gènes apparentés	302
COMMUTATEURS DE LA TRANSCRIPTION	273	L'évolution de la famille des gènes de la globine montre comment les duplications et divergences peuvent donner naissance à des protéines façonnées pour un organisme et son développement	304
La transcription est contrôlée par des protéines qui se lient à des séquences régulatrices d'ADN	273	La duplication de génomes entiers a façonné l'histoire de l'évolution de nombreuses espèces	305

De nouveaux gènes peuvent apparaître par répétition d'un même exon	306	Des gènes peuvent être isolés d'une banque d'ADN	336
De nouveaux gènes peuvent aussi apparaître par transfert d'exon	306	Une banque d'ADNc reflète l'ensemble des ARNm produits par un tissu donné	338
L'évolution des génomes a été accélérée par le mouvement des éléments génétiques mobiles	307	La PCR permet l'amplification de séquences ADN sélectionnées	340
Des organismes peuvent échanger leurs gènes par transfert horizontal de gène	308	DÉCHIFFRAGE ET EXPLOITATION DES INFORMATIONS GÉNÉTIQUES	343
RECONSTRUCTION DE L'ARBRE PHYLOGÉNÉTIQUE DE LA VIE SUR TERRE	309	L'ADN peut être séquencé rapidement	345
Les modifications génétiques qui procurent un avantage sélectif ont toutes les chances d'être conservées	309	Des molécules d'ADN complètement nouvelles peuvent être construites	347
Les génomes de l'Homme et du chimpanzé sont similaires dans leur organisation et dans le détail de leur séquence	310	Des protéines rares peuvent être produites en grandes quantités grâce au clonage de l'ADN	347
Des régions fonctionnellement importantes apparaissent comme des îlots de séquences ADN conservées	310	Les gènes reporters et l'hybridation <i>in situ</i> peuvent révéler quand et où un gène est exprimé	350
Les comparaisons de génomes montrent que les génomes de vertébrés gagnent et perdent de l'ADN rapidement	312	L'hybridation sur les micropuces à ADN permet de suivre l'expression de milliers de gènes à la fois	352
La conservation des séquences nous permet de retrouver les relations même les plus distantes au cours de l'évolution	313	L'approche génétique peut révéler la fonction d'un gène	354
ÉTUDE DU GÉNOME HUMAIN	315	Les animaux peuvent être modifiés par génie génétique	354
La séquence nucléotidique du génome humain nous montre comment nos gènes sont organisés	316	L'interférence par les ARN est une façon très simple de tester la fonction des gènes	356
Les modifications accélérées dans les séquences conservées du génome aident à révéler ce qui fait de nous des êtres humains	320	Les végétaux transgéniques sont importants à la fois en biologie cellulaire et en agriculture	357
Les variations génétiques au sein du génome humain contribuent à notre individualité	320	Chapitre 11 Structure des membranes	363
Il reste encore beaucoup d'informations à déchiffrer dans le génome humain	321	LA BICOUCHE LIPIDIQUE	364
Chapitre 10 Études des gènes et des génomes	327	Les lipides membranaires s'organisent en bicouche dans l'eau	365
MANIPULATION ET ANALYSE DES MOLÉCULES D'ADN	329	La bicouche lipidique est un fluide bidimensionnel	368
Les nucléases de restriction coupent les molécules d'ADN au niveau de sites spécifiques	329	La fluidité d'une bicouche lipidique dépend de sa composition	369
L'électrophorèse sur gel sépare les fragments d'ADN selon leur taille	330	La bicouche lipidique est asymétrique	370
L'hybridation est un moyen efficace pour détecter des séquences nucléotidiques particulières	332	L'asymétrie lipidique est préservée au cours des transports membranaires	371
L'hybridation est effectuée en utilisant des sondes ADN définies pour reconnaître une séquence ADN choisie	332	LES PROTÉINES MEMBRANAIRES	372
CLONAGE DE L'ADN	333	Les protéines membranaires s'associent à la bicouche lipidique de différentes façons	373
L'ADN ligase réunit des fragments d'ADN et produit une molécule d'ADN recombinant	334	Une chaîne polypeptidique traverse la bicouche sous forme d'hélice α	374
L'ADN recombinant peut être copié dans une cellule bactérienne	334	Les protéines membranaires peuvent être solubilisées dans des détergents et purifiées	375
Les plasmides sont des vecteurs spécialisés utilisés pour le clonage de l'ADN	335	La structure complète des protéines membranaires n'est connue que pour très peu d'entre elles	376
		La membrane plasmique est renforcée par le cortex cellulaire	377
		Les cellules peuvent limiter les mouvements des protéines membranaires	379
		La surface cellulaire est recouverte de glucides	380
		Chapitre 12 Transport membranaire	387
		PRINCIPES DU TRANSPORT MEMBRANAIRE	388
		Les concentrations en ions à l'intérieur d'une cellule sont très différentes de celles qui prévalent à l'extérieur	388

Les bicouches lipidiques sont imperméables aux solutés et aux ions	389	Chapitre 13 Les cellules tirent leur énergie de la nourriture	425
Il existe deux types de protéines de transport membranaire : les transporteurs et les canaux	389	DÉGRADATION ET UTILISATION DES SUCRES ET DES GRAISSES	426
Les solutés traversent les membranes par transport actif ou passif	390	Les molécules de nourriture sont dégradées en trois étapes	426
PROTÉINES DE TRANSPORT ET LEURS FONCTIONS	391	La glycolyse est la principale voie productrice d'ATP	427
Les gradients de concentration et les forces électriques contrôlent le transport passif	392	En l'absence d'oxygène, l'ATP est produit au cours des fermentations	432
Le transport actif déplace les solutés contre leur gradient électrochimique	393	La glycolyse permet de comprendre comment les enzymes couplent l'oxydation au stockage de l'énergie	433
Les cellules animales utilisent l'énergie provenant de l'hydrolyse de l'ATP pour pomper Na ⁺ hors de la cellule	394	Les sucres et les graisses sont dégradés en acétyl CoA dans les mitochondries	436
La pompe à Na ⁺ /K ⁺ est entraînée par l'addition transitoire d'un groupement phosphate	394	Le cycle de l'acide citrique produit du NADH en oxydant les groupements acétyle en CO ₂	436
La pompe à Na ⁺ /K ⁺ contribue au maintien de l'équilibre osmotique des cellules animales	396	De nombreuses voies de biosynthèse commencent par la glycolyse ou le cycle de l'acide citrique	439
Les concentrations de Ca ²⁺ intracellulaire sont maintenues basses par les pompes à Ca ²⁺	397	Le transport d'électron entraîne la synthèse de l'ATP dans la plupart des cellules	444
Les cellules animales exploitent le gradient de Na ⁺ pour absorber activement les nutriments	398	RÉGULATION DU MÉTABOLISME	445
Les gradients de H ⁺ permettent d'entraîner le transport membranaire chez les plantes, les champignons et les bactéries	400	Les réactions anaboliques et cataboliques sont organisées et régulées	445
CANAUX IONIQUES ET POTENTIEL DE MEMBRANE	400	La régulation par rétrocontrôle permet aux cellules de passer de la dégradation à la biosynthèse du glucose	447
Tout canal ionique est spécifique d'un ion et à ouverture contrôlée	401	Les cellules stockent les molécules de nourriture dans des réservoirs spéciaux en vue des périodes de besoin	448
Les canaux ioniques passent brusquement et, au hasard, de l'état ouvert à l'état fermé	403	Chapitre 14 Production d'énergie dans les mitochondries et les chloroplastes	453
Différents types de stimuli influencent l'ouverture et la fermeture des canaux ioniques	405	Les cellules tirent la plus grande partie de leur énergie de réactions qui ont lieu dans les membranes	454
Les canaux ioniques dépendants du voltage répondent au potentiel de membrane	405	MITOCHONDRIES ET PHOSPHORYLATION OXYDATIVE	456
Le potentiel de membrane dépend de la perméabilité de la membrane à des ions particuliers	407	Une mitochondrie comporte une membrane externe, une membrane interne et deux compartiments internes	456
CANAUX IONIQUES ET SIGNALISATION DANS LES CELLULES NERVEUSES	409	Des électrons riches en énergie sont produits au cours du cycle de l'acide citrique	458
Les potentiels d'action pourvoient aux communications rapides à longue distance	409	Un procédé chimio-osmotique convertit l'énergie des molécules de transporteurs en ATP	458
Les potentiels d'action sont habituellement contrôlés par des canaux Na ⁺ dépendants du voltage	410	La chaîne de transport des électrons pompe les protons à travers la membrane mitochondriale interne.	460
Au niveau des terminaisons nerveuses, les canaux Ca ²⁺ dépendants du voltage convertissent les signaux électriques en signaux chimiques	415	La pompe à protons crée un fort gradient de protons à travers la membrane mitochondriale interne	460
Dans les cellules cibles, les canaux à ouverture contrôlée par un neurotransmetteur reconvertissent les signaux chimiques en signaux électriques	415	Le gradient électrochimique de protons entraîne la synthèse d'ATP	461
Les neurones reçoivent des influx excitateurs et inhibiteurs	417	Le transport couplé à travers la membrane interne de la mitochondrie est aussi entraîné par le gradient électrochimique de protons	463
Les canaux ioniques dépendants d'un neurotransmetteur sont les principales cibles des médicaments psychotropes	418		
Les connexions synaptiques vous permettent de penser, d'agir et de vous souvenir	419		

La phosphorylation oxydative produit la plus grande partie de l'ATP de la cellule	464	TRI DES PROTÉINES	500
La conversion rapide d'ADP en ATP dans la mitochondrie maintient un rapport ATP/ADP élevé dans les cellules	465	Trois mécanismes permettent d'importer les protéines dans les organites	500
MÉCANISMES MOLÉCULAIRES DU TRANSPORT D'ÉLECTRONS ET DE LA POMPE À PROTONS	466	Des séquences signal dirigent les protéines vers le compartiment approprié	501
Les protons sont facilement déplacés par les transferts d'électrons	466	Les protéines entrent dans le noyau à travers les pores nucléaires	502
Le potentiel redox est une mesure de l'affinité des électrons	467	Les protéines se déplient pour entrer dans les mitochondries et les chloroplastes	505
Le transfert d'électrons libère de grandes quantités d'énergie	470	Les protéines entrent dans le réticulum endoplasmique en cours de synthèse	505
Des métaux étroitement liés à des protéines sont des transporteurs d'électrons universels	470	Les protéines solubles sont libérées dans la lumière du RE	507
La cytochrome oxydase catalyse la réduction de l'oxygène moléculaire	473	Des signaux de départ et d'arrêt déterminent la position d'une protéine transmembranaire dans la bicouche lipidique	508
Le mécanisme de la pompe à protons peut être étudié au niveau atomique	474	TRANSPORT VÉSICULAIRE	510
La respiration est remarquablement efficace	475	Des vésicules de transport véhiculent les protéines solubles et les membranes d'un compartiment à l'autre	510
CHLOROPLASTES ET PHOTOSYNTÈSE	476	Le bourgeonnement d'une vésicule est entraîné par l'assemblage d'un manteau protéique	511
Les chloroplastes ressemblent aux mitochondries mais ont un compartiment supplémentaire	477	L'arrimage d'une vésicule dépend de ses attaches et des SNARE	512
Les chloroplastes captent l'énergie de la lumière solaire et l'utilisent pour fixer le carbone	478	VOIES DE SÉCRÉTION	514
La lumière du soleil est absorbée par les molécules de chlorophylle	479	La plupart des protéines sont modifiées de façon covalente dans le RE	514
Les molécules de chlorophylle excitées canalisent l'énergie vers un centre réactionnel	480	La protéine est contrôlée avant sa sortie du RE pour s'assurer de sa qualité	516
L'énergie de la lumière permet la synthèse d'ATP et de NADPH	481	La taille du RE est contrôlée par la quantité de protéines qui le traversent	516
Les chloroplastes peuvent ajuster leur production d'ATP	483	Les protéines sont encore modifiées et triées dans l'appareil de Golgi	517
La fixation du carbone utilise l'ATP et le NADPH pour convertir le CO ₂ en sucres	484	Les protéines sécrétées sont libérées hors de la cellule par exocytose	518
Les sucres produits par la fixation du carbone peuvent être stockés sous forme d'amidon ou consommés pour donner de l'ATP	486	VOIES D'ENDOCYTOSE	522
ORIGINES DES CHLOROPLASTES ET DES MITOCHONDRIES	486	Des cellules phagocytaires spécialisées ingèrent de grosses particules	522
La phosphorylation oxydative aurait pu donner aux anciennes bactéries un avantage sélectif au cours de l'évolution	487	Les fluides et les macromolécules sont captés par pinocytose	523
Les bactéries photosynthétiques devinrent de moins en moins dépendantes de leur environnement	488	L'endocytose dépendante d'un récepteur assure une voie spécifique d'entrée dans les cellules animales	524
Le mode de vie de <i>Methanococcus</i> suggère que le couplage chimio-osmotique est un processus ancien	490	Après endocytose, les macromolécules sont triées dans les endosomes	525
Chapitre 15 Compartiments et transport intracellulaires	495	Les lysosomes sont le site principal de la digestion intracellulaire	526
ORGANITES ENTOURÉS DE MEMBRANES	496	Chapitre 16 Communication cellulaire	531
Les cellules eucaryotes contiennent un ensemble élémentaire d'organites entourés de membranes	496	PRINCIPES GÉNÉRAUX DE SIGNALISATION CELLULAIRE	532
Les organites entourés de membranes ont évolué de différentes façons	498	Les signaux peuvent agir de près ou de loin	532
		Chaque cellule répond à un nombre limité de signaux en fonction de son histoire et de son état présent	534
		La réponse d'une cellule à un signal peut être rapide ou lente	536

Certaines hormones traversent la membrane plasmique et se lient à des récepteurs intracellulaires	537	MICROTUBULES	577
Certains gaz dissous traversent les membranes et activent directement des enzymes intracellulaires	538	Les microtubules sont des tubes creux avec des extrémités structurellement distinctes	578
Les récepteurs membranaires transmettent les signaux extracellulaires par l'intermédiaire des voies de signalisation intracellulaires	539	Le centrosome est le principal centre organisateur des microtubules dans les cellules animales	579
Certaines protéines de signalisation intracellulaire jouent un rôle de commutateurs moléculaires	541	Les microtubules en croissance font preuve d'une instabilité dynamique	580
Il existe trois grandes classes de récepteurs membranaires	542	Les microtubules sont maintenus par l'équilibre des processus d'assemblage et de dissociation	581
Les récepteurs couplés à un canal ionique transforment les signaux chimiques en signaux électriques	544	Les microtubules organisent l'intérieur de la cellule	582
RÉCEPTEURS LIÉS AUX PROTÉINES G	544	Les protéines motrices sont responsables du transport intracellulaire	583
La stimulation des récepteurs liés aux protéines G active les sous-unités des protéines G	545	Les organites se déplacent le long des microtubules	584
Certaines protéines G contrôlent directement des canaux ioniques	547	Les cils et les flagelles contiennent des microtubules stables déplacés par des dynéines	585
Certaines protéines G activent des enzymes liées à la membrane	547	FILAMENTS D'ACTINE	590
La voie de l'AMP cyclique peut activer des enzymes et des gènes	548	Les filaments d'actine sont fins et flexibles	591
La voie des inositol phospholipides déclenche une augmentation de Ca ²⁺ intracellulaire	551	L'actine et la tubuline se polymérisent selon les mêmes mécanismes	591
Un signal Ca ²⁺ déclenche de nombreux processus biologiques	552	De nombreuses protéines se lient à l'actine et modifient ses propriétés	592
Les cascades de signalisation intracellulaires peuvent atteindre une vitesse, une sensibilité et une adaptabilité étonnantes	554	Un cortex riche en actine sous-tend la membrane plasmique de la plupart des cellules eucaryotes	594
RÉCEPTEURS COUPLÉS À UNE ENZYME	555	La migration cellulaire dépend de l'actine	594
Un récepteur tyrosine kinase (RTK) activé assemble un complexe de protéines de signalisation intracellulaires	555	L'actine s'associe à la myosine pour former des structures contractiles	597
La plupart des récepteurs tyrosine kinase activent la GTPase monomérique Ras	556	Des signaux extracellulaires contrôlent l'organisation des filaments d'actine	597
Les récepteurs tyrosine kinase activent la PI3-kinase pour produire des sites d'arrimage des lipides dans la membrane plasmique	558	CONTRACTION MUSCULAIRE	599
Certains récepteurs activent une voie rapide de signalisation vers le noyau	559	La contraction musculaire dépend des faisceaux d'actine et de myosine	599
La multicellularité et la communication cellulaire ont évolué indépendamment chez les plantes et les animaux	564	Pendant la contraction musculaire, les filaments d'actine glissent contre les filaments de myosine	600
Les réseaux de protéine kinases intègrent l'information pour contrôler les comportements cellulaires complexes	564	La contraction musculaire est déclenchée par une brusque augmentation de Ca ²⁺	602
Chapitre 17 Cytosquelette	571	Les cellules musculaires accomplissent, dans le corps, des tâches hautement spécialisées	604
FILAMENTS INTERMÉDIAIRES	572	Chapitre 18 Le cycle de division cellulaire	609
Les filaments intermédiaires sont solides et ressemblent à des cordes	574	VUE D'ENSEMBLE DU CYCLE CELLULAIRE	610
Les filaments intermédiaires renforcent les cellules contre les agressions mécaniques	575	Le cycle cellulaire eucaryote est divisé en quatre phases	611
L'enveloppe nucléaire est soutenue par un filet de filaments intermédiaires	576	Un système de contrôle central déclenche les principales étapes du cycle cellulaire	612
		Le contrôle du cycle cellulaire est le même chez tous les eucaryotes	613
		SYSTÈME DE CONTRÔLE DU CYCLE CELLULAIRE	613
		Le système de contrôle du cycle cellulaire dépend de protéine kinases activées de façon cyclique, appelées Cdk	614
		L'activité des Cdk est également régulée par phosphorylation et déphosphorylation	614

Des complexes cycline/Cdk différents déclenchent les différentes étapes du cycle cellulaire	617	L'apoptose est contrôlée par une cascade de protéolyse intracellulaire	639
Le système de contrôle du cycle cellulaire dépend aussi d'une protéolyse cyclique	618	La mort programmée est régulée par la famille de protéines intracellulaires Bcl-2	641
Des protéines qui inhibent les Cdk peuvent arrêter le cycle au niveau de points de contrôle spécifiques	618	Les cellules animales ont besoin d'un signal extracellulaire pour se diviser, croître et survivre	642
PHASE S	620	Les cellules animales ont besoin de facteurs de survie pour éviter l'apoptose	643
Cdk-S initie la réplication de l'ADN et permet d'éviter que l'ADN ne se réplique deux fois	620	Les mitogènes stimulent la division cellulaire	644
Les cohésines maintiennent ensemble les chromatides sœurs de chaque chromosome répliqué	621	Les facteurs de croissance stimulent la croissance cellulaire	645
Des points de contrôle de la qualité de l'ADN permettent d'empêcher la réplication de l'ADN endommagé	621	Certaines protéines de signalisation extracellulaire inhibent la croissance, la division ou la survie cellulaire	645
PHASE M	622	Chapitre 19 Sexe et génétique	651
Cdk-M entraîne l'entrée en phase M et en mitose	622	LES AVANTAGES DU SEXE	652
Des condensines permettent d'organiser les chromosomes répliqués, en vue de leur séparation	623	La reproduction sexuée implique à la fois des cellules diploïdes et des cellules haploïdes	652
Le cytosquelette intervient à la fois dans la mitose et dans la cytokinèse	624	La reproduction sexuée confère aux organismes un avantage compétitif	654
De façon conventionnelle, la phase M est divisée en six stades	624	MÉIOSE ET FÉCONDATION	655
MITOSE	625	La méiose permet d'obtenir des cellules germinales haploïdes à partir de cellules diploïdes	655
Les centrosomes se dédoublent pour permettre la formation des deux pôles du fuseau mitotique	625	La méiose implique un processus particulier d'appariement des chromosomes	656
Le fuseau mitotique commence à s'assembler en prophase	628	Des recombinaisons se produisent entre les chromosomes maternels et paternels	657
Les chromosomes s'attachent au fuseau mitotique en prométaphase	628	L'appariement et la recombinaison des chromosomes assurent la ségrégation correcte des homologues	658
Les chromosomes participent à l'assemblage du fuseau mitotique	630	La seconde division méiotique donne naissance aux cellules filles haploïdes	659
Les chromosomes s'alignent sur l'équateur du fuseau en métaphase	630	Les cellules haploïdes contiennent une information génétique très remaniée	661
Une protéolyse déclenche la séparation des chromatides sœurs et l'achèvement de la mitose	631	La méiose fait des erreurs	662
Les deux jeux de chromosomes se séparent en anaphase	631	La fécondation reconstitue un génome complet	663
Les chromosomes non attachés bloquent la séparation des chromatides sœurs	633	MENDEL ET LES LOIS DE L'HÉRÉDITÉ	664
L'enveloppe nucléaire se reforme en télophase	634	Mendel avait choisi d'étudier des caractères transmis de façon indépendante	665
CYTOCINÈSE	634	Mendel a pu montrer que les autres théories de l'hérédité étaient fausses	665
Le fuseau mitotique détermine le plan de clivage du cytoplasme	634	Les expériences de Mendel ont été les premières à révéler la nature discontinue de l'hérédité	666
L'anneau contractile des cellules animales est composé d'actine et de myosine	635	Chaque gamète porte un seul allèle pour chaque caractère	667
Dans les cellules végétales, la cytokinèse nécessite la formation d'une nouvelle paroi cellulaire	636	La loi de ségrégation de Mendel s'applique à tous les organismes à reproduction sexuée	668
Les organites entourés de membrane doivent être répartis entre les cellules filles quand une cellule se divise	638	La ségrégation des allèles des différents caractères se fait de façon indépendante	669
CONTRÔLE DU NOMBRE ET DE LA TAILLE DES CELLULES	638	Le comportement des chromosomes pendant la méiose permet d'expliquer les lois de l'hérédité de Mendel	671
L'apoptose participe à la régulation du nombre de cellules animales	638	La fréquence des recombinaisons peut permettre de déterminer l'ordre des gènes sur un chromosome	671

Les mutations des gènes peuvent être responsables d'une perte de fonction ou d'un gain de fonction	673	FEUILLETS ÉPITHÉLIAUX ET JONCTIONS INTERCELLULAIRES	700
Nous sommes tous porteurs d'allèles mutants potentiellement nuisibles	673	Les feuillettes épithéliales sont polarisés et reposent sur une membrane basale	700
LA GÉNÉTIQUE COMME OUTIL EXPÉRIMENTAL	675	Les jonctions serrées empêchent les fuites hors de l'épithélium et séparent ses surfaces apicale et basale	701
L'approche classique commence par la mutagenèse aléatoire	675	Les jonctions liées au cytosquelette attachent fermement les cellules épithéliales les unes aux autres et à la membrane basale	703
L'analyse génétique permet d'identifier des mutants déficients de processus cellulaires particuliers	676	Les jonctions communicantes (de type <i>gap</i>) permettent aux ions et aux petites molécules de passer d'une cellule à l'autre	705
Un test de complémentation permet de déterminer si deux mutations sont sur le même gène	677	ENTRETIEN ET RENOUVELLEMENT DES TISSUS	707
Les polymorphismes portant sur un seul nucléotide (SNP) servent de repères à la cartographie génétique	678	Les tissus sont des mélanges organisés de nombreux types cellulaires	709
Des groupes reliés de SNP définissent des blocs d'haplotypes	682	Les différents tissus se renouvellent à des vitesses différentes	710
Les blocs d'haplotypes nous donnent des indications sur l'histoire de notre évolution	683	Les cellules souches fournissent un apport continu en cellules terminales différenciées	711
Chapitre 20 Communautés cellulaires : tissus, cellules souches et cancer	689	Des signaux spécifiques entretiennent les populations de cellules souches	713
MATRICE EXTRACELLULAIRE ET TISSUS CONJONCTIFS	690	Les cellules souches peuvent être utilisées pour réparer des tissus endommagés	714
Les cellules végétales ont des parois externes très résistantes	691	Le clonage thérapeutique pourrait permettre la production de cellules ES personnalisées	715
Des microfibrilles de cellulose procurent aux parois des cellules végétales leur résistance élastique à la traction	692	CANCER	717
Les tissus conjonctifs animaux sont en grande partie constitués par la matrice extracellulaire	693	Les cellules cancéreuses prolifèrent, envahissent et produisent des métastases	718
Les fibres de collagène sont responsables de l'élasticité des tissus conjonctifs animaux	694	L'épidémiologie permet d'identifier des causes et donc de prévenir certains cancers	718
Les cellules organisent le collagène qu'elles sécrètent	696	Les cancers se développent par accumulation de mutations	719
Les intégrines réalisent un couplage entre la matrice extracellulaire et le cytosquelette intracellulaire	696	Les cellules cancéreuses développent des propriétés qui leur donnent un avantage compétitif	721
Des gels de polysaccharides et de protéines remplissent les espaces libres et résistent à la pression	698	De nombreux gènes différents jouent un rôle essentiel dans les cancers	722
		Le cancer colorectal montre comment la perte d'un gène peut aboutir à la croissance tumorale	723
		Une meilleure compréhension de la biologie des cancers ouvre la voie à de nouveaux traitements	727



La biologie cellulaire est un grand sujet et elle a des liens avec presque toutes les autres branches de la science. L'étude de la biologie cellulaire représente donc une bonne entrée à la connaissance du monde du vivant. Cependant elle apporte une foule d'informations dans lesquelles il est facile de s'égarer. Ce livre propose un abord simple des principes essentiels de la biologie cellulaire : il a été conçu dans le but d'expliquer, d'une manière compréhensible, même pour un lecteur qui approche la biologie moderne pour la première fois, le fonctionnement de la cellule vivante, sans pour autant sacrifier la rigueur scientifique des données.

Divisé en 20 chapitres, l'ouvrage présente l'organisation interne des cellules, la structure et la fonction des protéines, l'ADN et les chromosomes, les gènes et le génome, les membranes cellulaires, la production et l'utilisation de l'énergie, les compartiments cellulaires, le transport et la communication, le cytosquelette, la division cellulaire, la génétique et les bases moléculaires de l'hérédité, et enfin la communauté cellulaire avec les cellules tissulaires, les cellules souches et les cellules cancéreuses.

Les chapitres sont émaillés de questions brèves, permettant une révision instantanée des principales notions qui viennent d'être présentées. Des planches réunissent les données concernant le thème étudié, et des encadrés (« Comment le savons-nous ») décrivent les expériences menées par les biologistes sur les cellules et leurs résultats. Chaque chapitre se termine par un récapitulatif des concepts essentiels, à retenir, une brève liste de mots clés pour faciliter la mémorisation, et une série de questions permettant l'autoévaluation.

Les réponses aux questions sont situées en fin de livre, suivies d'un important glossaire qui aidera le lecteur à maîtriser le vocabulaire spécialisé.

Les nombreuses illustrations en couleurs apportent un complément d'information clair et didactique et contribuent à la valeur pédagogique de l'ouvrage.

Cette troisième édition inclut les connaissances nouvelles sur la structure des chromosomes, l'épigénétique, les micro-ARN et les ARN interférents, le contrôle de la qualité des protéines, la reconnaissance de cellule à cellule, les variations génétiques, les cellules souches et leur potentiel médical, les traitements rationnels des cancers, l'évolution du génome, etc.

L'Essentiel de la biologie cellulaire est le livre idéal pour acquérir les bases fondamentales de cette discipline et comprendre les grands problèmes biomédicaux et biologiques. Il s'adresse aux étudiants en biologie, chimie, biochimie, médecine, pharmacie, ainsi qu'aux enseignants.



www.medecine.lavoisier.fr



978-2-257-20402-8