

ALBERTS • BRAY • HOPKIN • JOHNSON • LEWIS • RAFF • ROBERTS • WALTER

L'ESSENTIEL DE LA BIOLOGIE CELLULAIRE

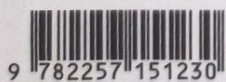
2^e édition



Médecine-Sciences
Flammarion



FM 5123-05-VII



www.medecine.flammarion.com

Médecine-Sciences
Flammarion

Sommaire abrégé et éléments particuliers

Chapitre 1	Introduction aux cellules	1
Planche 1-1	Microscopies optique et électronique	8
Planche 1-2	Cellules : les principaux éléments des cellules animales, végétales et bactériennes	25
Encadré	Comment nous connaissons les mécanismes communs de la vie	30
Chapitre 2	Composants chimiques des cellules	39
Encadré	Comment nous savons ce qu'est une macromolécule	60
Planche 2-1	Liaisons et groupements chimiques	66
Planche 2-2	Propriétés chimiques de l'eau	68
Planche 2-3	Description de quelques types de sucre	70
Planche 2-4	Acides gras et autres lipides	72
Planche 2-5	Les 20 acides aminés constituant les protéines	74
Planche 2-6	Généralités sur les nucléotides	76
Planche 2-7	Principaux types de liaisons faibles non covalentes	78
Chapitre 3	Énergie, catalyse et biosynthèse	83
Planche 3-1	Énergie libre et réactions biologiques	96
Encadré	Comment l'utilisation de la cinétique enzymatique permet de décrire et modifier les voies métaboliques	103
Chapitre 4	Structure et fonction des protéines	119
Planche 4-1	Quelques exemples des fonctions générales des protéines	120
Encadré	Comment la structure des protéines a été mise en évidence	129
Planche 4-2	Quatre manières différentes de décrire une petite protéine	132
Planche 4-3	Fractionnement cellulaire	160
Planche 4-4	Séparation des protéines par chromatographie	162
Planche 4-5	Séparation des protéines par électrophorèse	163
Planche 4-6	Préparation et utilisation des anticorps	164
Chapitre 5	ADN et chromosomes	169
Encadré	Comment nous savons que les gènes sont constitués d'ADN	172
Chapitre 6	Réplication, réparation et recombinaison de l'ADN	195
Encadré	Comment ont été découvertes les origines de réplication	198
Chapitre 7	De l'ADN à la protéine : lecture du génome par les cellules	229
Encadré	Comment a été déchiffré le code génétique	246
Chapitre 8	Contrôle de l'expression des gènes	267
Encadré	Régulation génique : histoire de <i>eve</i>	282
Chapitre 9	Évolution des gènes et des génomes	293
Encadré	Comment compter les gènes	314
Chapitre 10	Manipulations des gènes et des cellules	323
Encadré	Séquençage du génome humain	334

Chapitre 11	Structure des membranes		365
Encadré	Comment mesurer les flux membranaires		384
Chapitre 12	Transport membranaire		389
Encadré	Comment les calamars ont révélé les secrets de l'excitabilité de la membrane		414
Chapitre 13	Les cellules tirent leur énergie de la nourriture		427
Planche 13-1	Détails des dix étapes de la glycolyse		432
Encadré	Comment le cycle de l'acide citrique a été découvert		442
Planche 13-2	Cycle complet de l'acide citrique		450
Chapitre 14	Production d'énergie dans les mitochondries et les chloroplastes		453
Encadré	Comment le couplage chimio-osmotique entraîne la synthèse d'ATP		460
Planche 14-1	Potentiels redox		471
Chapitre 15	Compartiments intracellulaires et transport		497
Encadré	À la poursuite des protéines et des vésicules de transport		520
Chapitre 16	Communication cellulaire		533
Encadré	Décryptage des voies de signalisation cellulaire		561
Chapitre 17	Cytosquelette		573
Encadré	À la poursuite des protéines motrices		586
Chapitre 18	Contrôle du cycle cellulaire et mort cellulaire		611
Encadré	Découverte des cyclines et des Cdk		618
Chapitre 19	Division cellulaire		637
Planche 19-1	Principales étapes de la phase M dans une cellule animale		642
Encadré	Construction du fuseau mitotique		646
Chapitre 20	Génétique, méiose et bases moléculaires de l'hérédité		659
Encadré	Lecture des cartes génétiques		682
Planche 20-1	Quelques bases essentielles de la génétique classique		685
Chapitre 21	Tissus et cancer		697
Planche 21-1	Types cellulaires et tissulaires constituant les plantes supérieures		700
Encadré	Comprendre les gènes qui jouent un rôle essentiel dans le cancer		734
Réponses aux questions			R : 1
Glossaire			G : 1
Index			I : 1

Sommaire détaillé

Chapitre 1	Introduction aux cellules	1
Unité et diversité des cellules	1	
Les cellules varient énormément en apparence et en fonction	2	Les mitochondries génèrent, à partir de la nourriture, l'énergie permettant à la cellule de fonctionner 17
Les cellules vivantes ont toutes la même chimie de base	3	Les chloroplastes captent l'énergie de la lumière solaire 18
Toutes les cellules actuelles ont apparemment évolué à partir d'un ancêtre commun	4	Les membranes internes créent des compartiments cellulaires assumant des fonctions différentes 19
Les gènes fournissent les instructions commandant la forme, la fonction et le comportement complexe des cellules	5	Le cytosol est un gel aqueux concentré de grosses et de petites molécules 22
Les cellules vues au microscope	5	Le cytosquelette est responsable du contrôle des mouvements cellulaires 22
L'invention du microscope optique a conduit à la découverte des cellules	6	Le cytoplasme est loin d'être statique 23
On peut voir au microscope les cellules, les organites et même les molécules	7	Les cellules eucaryotes étaient peut-être, à l'origine, des prédateurs 24
La cellule procaryote	11	Organismes modèles 27
Les procaryotes sont les cellules les plus diversifiées	14	Les biologistes moléculaires se sont concentrés sur <i>E. coli</i> 28
Le monde procaryote est divisé en deux domaines : les eubactéries et les archéobactéries	15	La levure de bière est une cellule eucaryote simple 28
La cellule eucaryote	16	<i>Arabidopsis</i> a été choisi comme plante modèle parmi 300 000 espèces 28
Le noyau est la réserve d'informations de la cellule	16	Le monde animal est représenté par une mouche, un ver, une souris et Homo sapiens 29
		La comparaison des séquences génomiques révèle l'héritage commun de la vie 33
Chapitre 2	Composants chimiques des cellules	39
Les liaisons chimiques	39	Les cellules contiennent quatre familles principales de petites molécules organiques 51
Les cellules sont composées d'un nombre relativement petit d'atomes	40	Les glucides sont les sources d'énergie de la cellule et les sous-unités des polysaccharides 52
La couche externe des électrons détermine les interactions entre les atomes	41	Les acides gras sont les composants des membranes cellulaires 53
Les liaisons ioniques se forment par gain ou perte d'électrons	43	Les acides aminés sont les sous-unités des protéines 55
Les liaisons covalentes se forment par partage d'électrons	45	Les nucléotides sont les sous-unités de l'ADN et de l'ARN 56
La force des liaisons covalentes est variable	46	Les macromolécules de la cellule 58
Il existe différents types de liaisons covalentes	47	Les macromolécules sont constituées d'une séquence spécifique de sous-unités 59
Les liaisons hydrogène maintiennent la cohésion des molécules d'eau	48	Des liaisons non covalentes confèrent leur forme aux macromolécules 62
Certaines molécules polaires forment, dans l'eau, des acides ou des bases	49	Des liaisons non covalentes permettent à une macromolécule de se lier spécifiquement à d'autres molécules 63
Les molécules de la cellule	50	
Une cellule est constituée de composés carbonés	50	

Chapitre 3 Énergie, catalyse et biosynthèse

83

Catalyse et utilisation de l'énergie par les cellules 84

La libération d'énergie calorique par les cellules rend possible l'ordre biologique	85
Les organismes photosynthétiques utilisent la lumière du soleil pour synthétiser des molécules organiques	88
Les cellules tirent leur énergie de l'oxydation des molécules organiques	89
Oxydation et réduction impliquent des transferts d'électrons	90
Les enzymes abaissent les barrières qui bloquent les réactions chimiques	91
La variation d'énergie libre nécessaire à une réaction détermine si elle est possible ou non	93
Les concentrations des réactifs modifient les variations d'énergie libre et la direction de la réaction	94
La constante d'équilibre indique la force des interactions moléculaires	95

Dans une séquence de réactions, les variations d'énergie libre s'additionnent	98
Une diffusion rapide permet aux enzymes de trouver leurs substrats	100
V_{max} et K_m sont des mesures de l'activité enzymatique	101
Molécules de transport activées et biosynthèse	106
La formation d'un transporteur activé est couplée à une réaction favorable sur le plan énergétique	106
L'ATP est la molécule de transport activée la plus utilisée	107
L'énergie stockée dans l'ATP est souvent utilisée pour relier deux molécules entre elles	108
NADH et NADPH sont d'importants transporteurs d'électrons	109
Il y a dans les cellules de nombreuses autres molécules pouvant servir de transporteurs activés	111
La synthèse des polymères biologiques nécessite un apport d'énergie	112

Chapitre 4 Structure et fonction des protéines

119

Forme et structure des protéines 119

La forme d'une protéine dépend de sa séquence en acides aminés	121
Les protéines se replient en une conformation ayant le niveau d'énergie le plus bas	124
Les protéines présentent une grande variété de formes compliquées	125
L'hélice α et le feuillet β sont les formes les plus fréquentes de repliement	126
Les hélices se forment facilement dans les structures biologiques	134
Les feuillets β forment une structure rigide au cœur de nombreuses protéines	135
Les protéines ont plusieurs niveaux d'organisation	136
Quelques-unes seulement des nombreuses chaînes de polypeptides possibles seront utiles	137
Les protéines peuvent être classées en familles	138
Les grosses molécules de protéines contiennent souvent plus d'une chaîne polypeptidique	139
Les protéines peuvent s'assembler en filaments, feuillets ou sphères	140
Certaines protéines ont une forme allongée fibreuse	141
Les protéines extracellulaires sont souvent stabilisées par des liaisons croisées covalentes	142
Mode de fonctionnement des protéines	143
Toutes les protéines se lient à d'autres molécules	143

Les sites de liaison des anticorps sont particulièrement variables	144
Les enzymes sont des catalyseurs puissants très spécifiques	145
Le lysozyme illustre le fonctionnement d'une enzyme	146
Des petites molécules fortement liées aux protéines leur confèrent des fonctions supplémentaires	149
Régulation des protéines	150
L'activité catalytique des enzymes est souvent contrôlée par d'autres molécules	151
Les enzymes allostériques ont deux sites de liaison qui agissent l'un sur l'autre	151
La phosphorylation peut contrôler l'activité d'une protéine en provoquant un changement de conformation	153
Les protéines de liaison au GTP sont aussi régulées par le gain et la perte cyclique d'un groupement phosphate	154
L'hydrolyse des nucléotides permet aux protéines motrices de produire de grands mouvements dans la cellule	155
Les protéines forment souvent de grands complexes qui fonctionnent comme des machines protéiques	156
Les études à grande échelle de la structure et de la fonction des protéines accélèrent les découvertes	157

Chapitre 5 ADN et chromosomes 169

Structure et fonction de l'ADN	177		
Une molécule d'ADN est composée de deux chaînes de nucléotides complémentaires	171	Les chromosomes d'interphase sont organisés à l'intérieur du noyau	183
La structure de l'ADN fournit un support au mécanisme de l'hérédité	176	Dans les chromosomes, l'ADN est fortement condensé	183
Structure des chromosomes eucaryotes	177	Les nucléosomes sont les unités de base de la structure de la chromatine	184
L'ADN des eucaryotes est empaqueté dans des chromosomes	178	Les chromosomes présentent plusieurs niveaux d'empaquetage de l'ADN	186
Les chromosomes contiennent de longs filaments formés de gènes	179	Dans les chromosomes d'interphase, la chromatine peut être à la fois sous forme condensée et sous forme plus lâche	187
Les chromosomes se présentent sous différentes formes au cours de la vie d'une cellule	181	Des modifications dans la structure des nucléosomes permettent l'accès à l'ADN	189

Chapitre 6 Réplication, réparation et recombinaison de l'ADN 195

Réplication de l'ADN	196		
La complémentarité des bases permet la réplication de l'ADN	196	Un système de réparation des mésappariements d'ADN corrige les erreurs de réplication ayant échappé à la machinerie répliative	210
La synthèse de l'ADN commence aux origines de réplication	197	L'ADN est continuellement endommagé dans la cellule	212
La synthèse d'une nouvelle molécule d'ADN commence aux fourches de réplication	201	La stabilité des gènes est subordonnée à la réparation de l'ADN	213
La fourche de réplication est asymétrique	202	La grande fidélité des mécanismes de conservation de l'ADN fait que les espèces apparentées ont des protéines aux séquences très similaires	214
L'ADN polymérase se corrige elle-même	203	Recombinaison de l'ADN	215
De courts fragments d'ARN servent d'amorces à la synthèse de l'ADN	204	La recombinaison homologe aboutit à un échange parfait d'information génétique	215
Au niveau des fourches de réplication, des protéines coopèrent et constituent la machinerie répliative	206	La recombinaison peut aussi se faire entre des séquences d'ADN non homologues	216
La réplication des extrémités des chromosomes eucaryotes est effectuée par la télomérase	207	Les éléments génétiques mobiles codent les composants nécessaires à leur mobilité	217
La réplication de l'ADN est un phénomène relativement bien compris	208	Une grande partie du génome humain est composée de deux familles de gènes à séquences transposables	218
Réparation de l'ADN	209	Les virus sont des éléments génétiques mobiles qui peuvent s'échapper de la cellule	219
Les mutations peuvent avoir des conséquences très graves pour un organisme	209	Les rétrovirus inversent le flux normal de l'information génétique	221

Chapitre 7

De l'ADN à la protéine : lecture du génome par les cellules

De l'ADN à l'ARN	230	Les ARNt appartiennent aux acides aminés et codons de l'ARNm	229
Des segments de séquences ADN sont transcrits en ARN	230	Des enzymes spécifiques chargent l'acide aminé correct sur son ARNt	248
La transcription produit un ARN complémentaire d'un brin d'ADN	231	Le message de l'ARN est décodé sur les ribosomes	248
Plusieurs types d'ARN sont produits dans les cellules	233	Le ribosome est un ribozyme	248
Des signaux dans l'ADN indiquent à l'ARN polymérase où commencer et où finir	234	Sur l'ARNm, des codons signalent le début et la fin de la synthèse protéique	251
Les ARN eucaryotes sont transcrits et modifiés simultanément dans le noyau	236	Les protéines sont synthétisées sur des polyribosomes	253
Les gènes eucaryotes sont interrompus par des séquences non codantes	237	Les inhibiteurs de la biosynthèse des protéines procaryotes sont utilisés comme antibiotiques	254
Les introns sont excisés par épissage de l'ARN	238	Dans la cellule, le catabolisme des protéines est soigneusement contrôlé afin de permettre une régulation de leur taux	255
Les ARNm eucaryotes matures sont exportés sélectivement hors du noyau	241	Il existe de nombreuses étapes entre l'ADN et la protéine	256
Les molécules d'ARNm sont finalement dégradées par la cellule	242	ARN et origines de la vie	257
Les premières cellules pourraient avoir eu des introns dans leurs gènes	242	L'autocatalyse est nécessaire à la vie	258
De l'ARN à la protéine	243	L'ARN est à la fois support de l'information et catalyseur chimique	259
Une séquence d'ARNm est décodée triplet par triplet	244	L'ARN aurait précédé l'ADN au cours de l'évolution	259

Chapitre 8

Contrôle de l'expression des gènes

Vue générale sur l'expression des gènes	268	L'ARN polymérase eucaryote a besoin de facteurs généraux de transcription	267
Les différents types cellulaires d'un organisme multicellulaire contiennent le même ADN	268	Les protéines régulatrices d'un gène eucaryote contrôlent à distance l'expression du gène	276
Les différents types de cellules produisent des ensembles différents de protéines	268	L'empaquetage de l'ADN du promoteur dans les nucléosomes peut modifier l'initiation de la transcription	278
Une cellule peut modifier l'expression de ses gènes en réponse à des signaux extérieurs	270	Mécanismes moléculaires conduisant à la création de cellules spécialisées	279
L'expression des gènes peut être contrôlée à différents niveaux sur la voie qui conduit de l'ADN à l'ARN et aux protéines	270	Les gènes eucaryotes sont régulés par différentes combinaisons de protéines	280
Commutateurs de la transcription	271	Une seule protéine peut coordonner l'expression de différents gènes	281
La transcription est contrôlée par des protéines qui se lient à des séquences régulatrices d'ADN	271	La combinaison des contrôles peut créer différents types cellulaires	281
Les répresseurs inhibent les gènes, les activateurs les activent	273	Des profils stables d'expression génique peuvent être transmis aux cellules filles	285
L'opéron <i>lac</i> est contrôlé par un activateur et un répresseur	275	Une seule protéine régulatrice de gène peut déclencher la formation d'un organe entier	286
L'initiation de la transcription d'un gène eucaryote est un processus complexe	275		288

Chapitre 9

Évolution des gènes et des génomes

293

Origine des variations génétiques

Cinq types principaux de changements génétiques ont contribué à l'évolution	293
Les altérations du génome sont causées par les échecs du mécanisme normal de copie et de conservation de l'ADN	295
La duplication de l'ADN donne naissance à des familles de gènes proches au sein d'une même cellule	296
L'évolution de la famille des gènes de la globine montre comment les duplications de l'ADN contribuent à l'évolution des organismes	297
La duplication et la divergence de gènes fournissent une source importante de nouveauté génétique pour les organismes en évolution	298
De nouveaux gènes peuvent apparaître par répétition d'un même exon	299
De nouveaux gènes peuvent aussi apparaître par transfert d'exon	300
L'évolution des génomes a été accélérée par le mouvement d'éléments transposables	300
Des organismes peuvent échanger des gènes entre eux par transfert horizontal de gène	301
Reconstruction de l'arbre généalogique de la vie	302
Les variations génétiques qui ont le plus de chance d'être conservées sont celles qui donnent à l'organisme un avantage sélectif	304

Les différences entre les séquences des génomes de deux espèces sont proportionnelles à la durée pendant laquelle elles ont évolué séparément	305
Les génomes des humains et des chimpanzés sont très semblables, aussi bien dans leur organisation que dans le détail de leur séquence	306
Des séquences fonctionnellement importantes apparaissent comme des îlots de conservation dans la séquence de l'ADN	306
Les comparaisons entre génomes suggèrent que l'ADN « poubelle » ne sert à rien	308
La conservation des séquences nous permet de retrouver les relations même les plus distantes au cours de l'évolution	309
Examen du génome humain	311
La séquence nucléotidique du génome humain nous montre l'organisation de nos gènes	311
Les variations génétiques au sein du génome humain contribuent à notre individualité	313
La comparaison entre notre ADN et celui d'espèces proches aide à l'interprétation du génome humain	316
Il reste encore beaucoup d'informations à déchiffrer dans le génome humain	317

Chapitre 10

Manipulations des gènes et des cellules

323

Isolement des cellules et culture cellulaire	324
Une population cellulaire uniforme peut être obtenue à partir des tissus	325
Les cellules peuvent pousser dans une boîte de culture	325
Maintenir des cellules eucaryotes en culture pose des problèmes particuliers	326
Techniques d'analyse de l'ADN	327
Les endonucléases de restriction coupent l'ADN au niveau de sites spécifiques	328
L'électrophorèse sur gel sépare les fragments d'ADN selon leur taille	329
La séquence nucléotidique d'un fragment d'ADN peut être déterminée	331
Les séquences génomiques sont analysées afin d'identifier les gènes	333
Hybridation des acides nucléiques	336
L'hybridation de l'ADN facilite le diagnostic des maladies génétiques	336
L'hybridation sur les puces à ADN permet de suivre l'expression de milliers de gènes à la fois	338
L'hybridation in situ permet de localiser des séquences nucléotidiques dans les cellules ou sur les chromosomes	340
Clonage de l'ADN	341
L'ADN ligase réunit des fragments d'ADN et produit une molécule d'ADN recombinant	341

L'ADN recombinant peut être recopié dans une cellule bactérienne	341
Les plasmides sont des vecteurs spécialisés utilisés pour le clonage de l'ADN	342
Les gènes humains ont été isolés par clonage de l'ADN	343
Une banque d'ADNc reflète l'ensemble des ARNm produits par un tissu donné	346
La PCR permet l'amplification de séquences ADN sélectionnées	347
Génie génétique et ADN	352
On peut construire de toutes pièces de nouvelles molécules d'ADN	352
On peut produire de grandes quantités de protéines cellulaires rares grâce au clonage de l'ADN	352
Le génie génétique est à même de révéler quand et où un gène est exprimé	353
Les organismes mutants sont les révélateurs de la fonction d'un gène	355
Les espèces animales peuvent être altérées par génie génétique	356
Les plantes transgéniques sont importantes en biologie cellulaire et en agriculture	359

Chapitre 11 Structure des membranes

Bicouche lipidique

Les lipides membranaires s'organisent en bicouche dans l'eau	366
La bicouche lipidique est un fluide bidimensionnel	367
La fluidité d'une bicouche lipidique dépend de sa composition	370
La bicouche lipidique est asymétrique	371
L'asymétrie des lipides est créée à l'intérieur de la cellule	373

Protéines membranaires

Les protéines membranaires s'associent à la bicouche lipidique de différentes manières	374
	375

Une chaîne polypeptidique traverse généralement la bicouche sous forme d'hélice α	365
On peut solubiliser les protéines membranaires dans les détergents et les purifier	376
On connaît la structure complète de quelques protéines membranaires	377
La membrane plasmique est renforcée par le cortex cellulaire	378
La surface cellulaire est recouverte de glucides	380
Les cellules peuvent limiter les mouvements des protéines membranaires	381
	383

Chapitre 12 Transport membranaire

Principes du transport membranaire

Les concentrations en ions à l'intérieur d'une cellule sont très différentes de celles qui prévalent à l'extérieur	389
Les bicouches lipidiques sont imperméables aux solutés et aux ions	390
Il existe deux types de protéines de transport membranaire : les transporteurs et les canaux	391
Les solutés traversent les membranes par transport actif ou passif	391
	392

Protéines de transport et leurs fonctions

Des gradients de concentration et de forces électriques contrôlent le transport passif	393
Le transport actif déplace les solutés contre leur gradient électrochimique	393
Les cellules animales utilisent l'énergie provenant de l'hydrolyse de l'ATP pour pomper Na^+ vers l'extérieur	395
La pompe $\text{Na}^+\text{-K}^+$ est entraînée par l'addition transitoire d'un groupement phosphate	396
Les cellules animales utilisent le gradient de Na^+ pour absorber activement les aliments	397
La pompe $\text{Na}^+\text{-K}^+$ contribue au maintien de l'équilibre osmotique des cellules animales	397
Les concentrations de Ca^{2+} intracellulaire sont maintenues basses par des pompes à Ca^{2+}	399
Les gradients de H^+ sont utilisés pour entraîner le transport membranaire chez les plantes, les champignons et les bactéries	401
	402

Canaux ioniques et potentiel de membrane

Les canaux ioniques sont sélectifs vis-à-vis des ions et peuvent être ouverts ou fermés	403
Les canaux ioniques passent brusquement et de manière aléatoire entre les états ouverts et fermés	403
Différents types de stimuli contrôlent l'ouverture ou la fermeture des canaux ioniques	405
Les canaux ioniques dépendant du voltage répondent au potentiel de membrane	407
Le potentiel de membrane dépend de la perméabilité de la membrane à des ions spécifiques	407
	408

Canaux ioniques et signalisation dans les cellules nerveuses

Les potentiels d'action représentent un moyen de communication rapide à longue distance	411
Les potentiels d'action sont habituellement contrôlés par des canaux Na^+ dépendant du voltage	411
Les canaux Ca^{2+} dépendant du voltage convertissent les signaux électriques en signaux chimiques dans les terminaisons nerveuses	412
Dans les cellules cibles, les canaux à ouverture contrôlée par un neurotransmetteur reconvertissent les signaux chimiques en signaux électriques	417
Les neurones reçoivent des influx excitateurs ou inhibiteurs	417
Les canaux ioniques dépendant d'un neurotransmetteur sont les principales cibles des médicaments psychotropes	419
Les connexions synaptiques vous permettent de penser, d'agir et de vous souvenir	419
	420

Chapitre 13 Les cellules tirent leur énergie de la nourriture 427

Dégradation des sucres et des graisses	428		
Les molécules de nourriture sont dégradées en trois étapes	428	Le cycle de l'acide citrique produit du NADH en oxydant les groupements acétyle en CO ₂	439
La glycolyse est la principale voie productrice d'ATP	430	Le transport d'électrons entraîne la synthèse de l'ATP dans la plupart des cellules	441
En l'absence d'oxygène, l'ATP est produit au cours des fermentations	431	Stockage et utilisation de la nourriture	444
La glycolyse permet de comprendre comment les enzymes couplent l'oxydation au stockage de l'énergie	434	Les organismes stockent les molécules de nourriture dans des réservoirs spéciaux	444
Les sucres et les graisses sont dégradés en acétyl CoA dans les mitochondries	435	Dans les cellules végétales, les chloroplastes et les mitochondries collaborent	446
		De nombreuses voies de biosynthèse commencent par la glycolyse ou le cycle de l'acide citrique	447
		Le métabolisme est organisé et régulé	448

Chapitre 14 Production d'énergie dans les mitochondries et les chloroplastes 453

Les cellules tirent la plus grande partie de leur énergie de réactions qui ont lieu dans les membranes	453	Le transfert d'électrons libère de grandes quantités d'énergie	470
Mitochondries et phosphorylation oxydative	455	Des métaux étroitement liés à des protéines sont des transporteurs d'électrons universels	472
Une mitochondrie comporte une membrane externe, une membrane interne et deux compartiments internes	455	La cytochrome oxydase catalyse la réduction de l'oxygène	474
Des électrons riches en énergie sont produits au cours du cycle de l'acide citrique	457	Le mécanisme de la pompe à protons sera bientôt compris jusque dans ses détails atomiques	475
Un procédé chimio-osmotique convertit l'énergie d'oxydation en ATP	458	La respiration est remarquablement efficace	476
Les électrons sont transportés le long d'une chaîne de protéines dans la membrane interne de la mitochondrie	459	Chloroplastes et photosynthèse	478
Le transfert d'électrons crée un gradient de protons à travers la membrane	462	Les chloroplastes ressemblent aux mitochondries mais ont un compartiment supplémentaire	478
Le gradient de protons entraîne la synthèse d'ATP	464	Les chloroplastes captent l'énergie de la lumière solaire et l'utilisent pour fixer le carbone	480
Le transport couplé à travers la membrane interne de la mitochondrie est entraîné par le gradient électrochimique de protons	466	Les molécules de chlorophylle excitées canalisent l'énergie vers un centre réactionnel	481
Les gradients de protons produisent la plus grande partie de l'ATP de la cellule	466	L'énergie de la lumière permet la synthèse d'ATP et de NADPH	482
La conversion rapide d'ADP en ATP dans la mitochondrie maintient un rapport ATP/ADP élevé dans les cellules	468	La fixation du carbone est catalysée par la ribulose biphosphate carboxylase	485
Chaîne de transport des électrons et pompe à protons	468	La fixation du carbone dans les chloroplastes génère du saccharose et de l'amidon	486
Les protons sont facilement déplacés par les transferts d'électrons	468	Origines des chloroplastes et des mitochondries	487
Le potentiel redox est une mesure de l'affinité des électrons	469	La phosphorylation oxydative a donné aux anciennes bactéries un avantage sélectif au cours de l'évolution	488
		Les bactéries photosynthétiques devinrent de moins en moins dépendantes de leur environnement	489
		Le mode de vie de <i>Methanococcus</i> suggère que le couplage chimio-osmotique est un processus ancien	490

Chapitre 15 Compartiments intracellulaires et transport

497

Organites entourés de membranes	498	Le bourgeonnement d'une vésicule est entraîné par l'assemblage d'un manteau protéique	513
Les cellules eucaryotes contiennent un ensemble élémentaire d'organites entourés de membranes	498	La spécificité d'arrimage d'une vésicule dépend des SNARE	515
Les organites entourés de membranes ont évolué de différentes façons	500	Voies de sécrétion	516
Tri des protéines	502	La plupart des protéines sont modifiées de façon covalente dans le RE	516
Trois mécanismes permettent d'importer les protéines dans les organites	502	La protéine est contrôlée avant sa sortie du RE pour s'assurer de sa qualité	517
Des séquences signal dirigent les protéines vers le compartiment approprié	503	Les protéines sont encore modifiées et triées dans l'appareil de Golgi	518
Les protéines entrent dans le noyau à travers les pores nucléaires	504	Les protéines sécrétées sont libérées hors de la cellule par exocytose	519
Les protéines se déplient pour entrer dans les mitochondries et les chloroplastes	506	Voies d'endocytose	523
Les protéines entrent dans le réticulum endoplasmique au cours de leur synthèse	507	Des cellules phagocytaires spécialisées ingèrent de grosses particules	523
Les protéines solubles sont libérées dans la lumière du RE	509	Les fluides et les macromolécules sont captés par pinocytose	525
Des signaux de départ et d'arrêt déterminent la position d'une protéine transmembranaire dans la bicouche lipidique	510	L'endocytose dépendante d'un récepteur assure une voie spécifique dans les cellules animales	525
Transport vésiculaire	512	Après endocytose, les macromolécules sont triées dans les endosomes	526
Des vésicules de transport véhiculent les protéines solubles et les membranes d'un compartiment à l'autre	512	Les lysosomes sont le site principal de la digestion intracellulaire	527

Chapitre 16 Communication cellulaire

533

Principes généraux de signalisation cellulaire	533	La voie de l'AMP cyclique peut activer des enzymes et des gènes	550
Les signaux peuvent agir de près ou de loin	534	La voie des inositol phospholipides déclenche une augmentation de Ca^{2+} intracellulaire	552
Chaque cellule répond à un nombre limité de signaux	536	Un signal Ca^{2+} déclenche de nombreux processus biologiques	554
Les récepteurs transmettent les signaux par l'intermédiaire des voies de signalisation intracellulaire	538	Les cascades de signalisation intracellulaire peuvent atteindre une vitesse, une sensibilité et une adaptabilité étonnantes : regard sur les photorécepteurs de l'œil	555
Le monoxyde d'azote traverse les membranes et active directement des enzymes intracellulaires	540	Récepteurs liés à une enzyme	557
Certaines hormones traversent la membrane plasmique et se lient à des récepteurs intracellulaires	541	Un récepteur tyrosine kinase activé assemble un complexe de protéines de signalisation intracellulaire	557
Il existe trois grandes classes de récepteurs membranaires	542	Un récepteur tyrosine kinase active la protéine Ras, protéine de liaison du GTP	559
Les récepteurs liés à un canal ionique transforment les signaux chimiques en signaux électriques	544	Certains récepteurs liés à des enzymes activent une voie rapide de signalisation vers le noyau	560
De nombreuses protéines de signalisation intracellulaire jouent un rôle de commutateurs moléculaires	545	Les réseaux de protéine kinases intègrent l'information qui contrôle le comportement cellulaire	565
Récepteurs liés aux protéines G	546	La multicellularité et la communication cellulaire ont évolué indépendamment chez les plantes et les animaux	566
La stimulation des récepteurs liés aux protéines G active les sous-unités des protéines G	546		
Certaines protéines G contrôlent des canaux ioniques	548		
Certaines protéines G activent des enzymes liées à la membrane	549		

Chapitre 17 Cytosquelette

573

Filaments intermédiaires

Les filaments intermédiaires sont solides et ressemblent à des cordes	574
Les filaments intermédiaires augmentent la résistance des cellules aux agressions mécaniques	575
L'enveloppe nucléaire est soutenue par un filet de filaments intermédiaires	576

Microtubules

Les microtubules sont des tubes creux avec des extrémités structurellement distinctes	578
Le centrosome est le principal centre organisateur des microtubules dans les cellules animales	579
Les microtubules en croissance font preuve d'une instabilité dynamique	580
Les microtubules sont maintenus par l'équilibre des processus d'assemblage et de dissociation	581
Les microtubules organisent l'intérieur de la cellule	582
Les protéines motrices sont responsables du transport intracellulaire	583
Les organites se déplacent le long des microtubules	584
Les cils et les flagelles contiennent des microtubules stables déplacés par des dynéines	585

Filaments d'actine

Les filaments d'actine sont fins et flexibles	592
L'actine et la tubuline se polymérisent selon les mêmes mécanismes	593
De nombreuses protéines se lient à l'actine et modifient ses propriétés	594
Un cortex riche en actine sous-tend la membrane plasmique de la plupart des cellules eucaryotes	594
La migration cellulaire dépend de l'actine	595
L'actine s'associe à la myosine pour former des structures contractiles	598
Des signaux extracellulaires contrôlent l'organisation des filaments d'actine	599

Contraction musculaire

La contraction musculaire dépend des faisceaux d'actine et de myosine	600
Pendant la contraction musculaire, les filaments d'actine glissent contre les filaments de myosine	601
La contraction musculaire est déclenchée par une brusque augmentation de Ca^{2+}	603
Les cellules musculaires accomplissent, dans le corps, des tâches hautement spécialisées	605

Chapitre 18 Contrôle du cycle cellulaire et mort cellulaire

611

Vue d'ensemble du cycle cellulaire

Le cycle cellulaire eucaryote est divisé en quatre phases	612
Un système de contrôle central déclenche les principales étapes du cycle cellulaire	613
Système de contrôle du cycle cellulaire	614
Le système de contrôle du cycle cellulaire dépend de protéine kinases activées de façon cyclique	615
Les protéine kinases dépendantes de cyclines sont régulées par l'accumulation et la destruction de ces cyclines	616
L'activité des Cdk est également régulée par phosphorylation et déphosphorylation	617
Des complexes cycline/Cdk différents déclenchent les différentes étapes du cycle cellulaire	617
Cdk-S initie la réplication de l'ADN et permet d'éviter que l'ADN ne se réplique deux fois	620
Les Cdk sont inactives pendant la plus grande partie de la phase G_1	621

Le système de contrôle du cycle cellulaire peut arrêter le cycle au niveau de points de contrôle spécifiques	622
Les cellules peuvent démanteler leur système de contrôle et se retirer du cycle cellulaire	624
Mort cellulaire programmée (apoptose)	625
L'apoptose est contrôlée par une cascade de protéolyse intracellulaire	626
La mort programmée est régulée par la famille de protéines intracellulaires Bcl-2	627
Contrôle extracellulaire du nombre et de la taille des cellules	628
Les cellules animales ont besoin d'un signal extracellulaire pour se diviser, croître et survivre	629
Les mitogènes stimulent la division cellulaire	629
Les facteurs de croissance extracellulaires stimulent la croissance cellulaire	631
Les cellules animales ont besoin de facteurs de survie pour éviter l'apoptose	631
Certaines protéines extracellulaires de signalisation inhibent la croissance, la division ou la survie cellulaire	632