



Sciences de la Vie et de la Terre

Préparation aux concours
(Grandes Écoles, CAPES, Agrégation)

BIOLOGIE DES ORGANISMES 1

Intégrité, identité et pérennité
des organismes animaux
et végétaux face aux contraintes abiotiques

Jean CLOS
Michel COUPÉ



Table des matières

PARTIE 1. LES IDÉES ESSENTIELLES	9
1. Les réponses de l'organisme aux contraintes énergétiques	10
1.1. Le maintien de l'homéostasie glycémique chez les Animaux (dont l'Homme)	10
1.1.1. Les réponses physico-chimiques aux variations de la glycémie	12
• Filtration et réabsorption rénale	12
• La fonction glycogénique du foie	13
1.1.2. Les réponses hormonales aux variations de la glycémie	14
• La régulation de la glycémie	15
• Les adaptations glycémiques	19
1.1.3. Les réponses comportementales aux variations de la glycémie	23
• Les centres nerveux contrôlant la prise alimentaire	23
• La régulation quotidienne	23
• La régulation à long terme et/ou par anticipation : rôle majeur du système Neuropeptide Y-Insuline-Corticostérone-Leptine dans l'homéostasie du poids corporel	26
1.2. L'importance des réserves énergétiques chez les Végétaux	36
1.2.1. Nature des réserves et organes de stockage	36
• Les glucides	36
• Les lipides	37
• Les protides	37
1.2.2. Constitution et utilisation des réserves glucidiques à court terme	40
• L'équilibre fructose-1,6P/fructose-6P	41
• La régulation de la synthèse du saccharose	42
• La régulation de la synthèse de l'amidon	42
• Le partage entre amidon et saccharose	44
• Biochimie de la mise en réserve	44
1.2.3. Utilisation des réserves glucidiques, lipidiques et protéiques à long terme	46
• Réserves et reproduction	46
• Réserves et contraintes prévisibles du milieu	47
• Réserves et contraintes contingentes	48
2. Les réponses de l'organisme aux contraintes hydrominérales	49
2.1. Chez les Animaux (dont l'Homme)	49
2.1.1. La régulation physique des compartiments liquidiens	52
• Les déshydratations et leurs conséquences	52

• Les hyperhydratations et leurs conséquences	54	
2.1.2. La régulation physiologique		56
• Régulation neuro-végétative de la pression artérielle	56	
• Régulation hormonale de l'osmolarité et de la volémie	57	
2.1.3. La régulation comportementale		61
• Soif « centrale » et soif « périphérique »	61	
• Appétit sodé	62	
2.2. Le maintien de la teneur en eau chez les Végétaux		84
2.2.1. Ajustement à très court terme :		
les réponses physico-chimiques		86
• L'ouverture des stomates est due à la turgescence	86	
• Le maintien de la turgescence est possible	86	
2.2.2. Ajustement différé : les réponses hormonales		86
• La boucle de régulation	86	
• La fonction des molécules de « stress hydrique »	87	
2.2.3. Les réponses comportementales de type rythmique		87
• Activité stomatique dépendante de la lumière	87	
• Défoliation saisonnière	88	
3. Les réponses de l'organisme aux contraintes thermiques		96
3.1. Chez les Animaux (dont l'Homme)		96
3.1.1. La régulation physico-chimique		98
• Des échanges thermiques à contre-courant totalement passifs	98	
• Des échanges thermiques à contre-courant régulés par le système nerveux : rôle clé de l'hypothalamus	102	
• Des molécules de stress thermique : antigels et protéines de choc thermique (<i>Heat Shock Proteins</i> ou HSP), polymorphisme enzymatique	107	
3.1.2. La régulation physiologique		109
• La composante neurovégétative	109	
• La composante neuroendocrinienne	111	
3.1.3. La régulation comportementale		117
• Le changement de <i>preferendum</i> thermique	117	
• Le comportement des espèces sédentaires	118	
3.2. Les Végétaux et le froid		128
3.2.1. Le froid est un facteur écologique		128
• Limite l'extension des Végétaux	128	
• Les formes de Végétaux et le froid	129	
• Les Végétaux et les grands froids	129	
3.2.2. Le froid intervient à chaque stade du développement et détermine la vie du Végétal		130
• La germination	130	
• La croissance	130	
• L'évolution des bourgeons	131	
• La floraison	131	
3.2.3. Le froid agit sur la cellule		132
• Les effets physiques du froid	132	
• Les actions biochimiques du froid	133	

PARTIE 2. FAITS SCIENTIFIQUES

(observations fondamentales, faits historiques majeurs, expériences princeps)

139**1. Chez les Animaux****140**

1. Mise en évidence d'une dualité des thermorécepteurs centraux et périphériques dans la régulation de la température corporelle chez l'Homme 140
2. Mise en évidence du rôle de l'hypothalamus dans la régulation de la température corporelle chez le Chien 142
3. Mise en évidence du rôle du rein dans l'adaptation des Poissons téléostéens au biotope dulcicole et marin 146
4. Mise en évidence du rôle de la branchie dans l'adaptation des Poissons téléostéens au biotope dulcicole et marin 154
5. Mise en évidence de la fonction glycogénique du foie par Cl. Bernard 158
6. Le syndrome général d'adaptation de H. Selye 158
7. Le contrôle de la douleur : la théorie du « portillon » (*gate control*, en anglais) de R. Melzack et P. Wall (années 60) et la découverte des endorphines par J. Hughes et H. Kosterlitz (1975) 160

2. Chez les Végétaux**163**

1. Mise en évidence d'une évapo-transpiration épidermique (expérience de Garreau, 1859) et stomatique (expérience de Darwin et Pertz, 1911) 163
2. Mise en évidence d'une osmorégulation chez les Végétaux : expérience de Lapique (1925) 165
3. La notion de stress chez les Végétaux : comparaison avec les Animaux 165

PARTIE 3. ENTRAÎNEMENT**169****1. Corrigés-types et propositions de plans plus ou moins détaillés****170**

Sujet 1. L'adaptation des Animaux (dont l'Homme) à l'hypoxie hypobare 170

Sujet 2. La vie dans un milieu extrême : la haute altitude ou la vie animale en haute montagne 179

Sujet 3. L'oxygène et la vie des Végétaux 180

Sujet 4. Les Végétaux face au stress hydrique 181

Sujet 5. Calcaire, calcium et vie des plantes 182

Sujet 6. les sels minéraux dans la vie des plantes 183

Sujet 7. la biologie des halophytes 186

Sujet 8. Les systèmes d'échanges à contre-courant 190

Sujet 9. Le maintien de l'intégralité du génome 192

Sujet 10. les réponses de l'organisme à une hémorragie importante 198

Sujet 11. L'intégration des glandes surrénales dans le contrôle de l'homéostasie 204

2. Sujet d'écrit type « Agrégation »	
(épreuve de biochimie et biologie cellulaire, option : Sciences de la Vie)	212
Le rôle des cellules dans la défense de l'organisme	212
Annexe	234
3. Sujet d'écrit type « CAPES »	237
Correction	243
4. QCM	260
Corrigés	278
5. Annales	280
1. Sujets d'oral de type CAPES ou Agrégation (leçon L ou D)	280
2. Sujets d'écrit	283
Lexique	303
Bibliographie générale	311
Bibliographie spécifique	315

Un certain nombre de schémas ont été empruntés à la littérature et modifiés (cf. Bibliographie générale et spécifique). Les autres sont des créations originales. Toutes les figures ont été (re)dessinées par les auteurs à l'aide du logiciel Adobe Illustrator 7.0.

Des modifications chimiques changent l'activité biologique des protéines	71	4 ACIDES NUCLÉIQUES, CODE GÉNÉTIQUE ET SYNTHÈSE DES PROTÉINES	101
L'activité d'une protéine peut être modifiée par retouche protéolytique et découpage	72	<i>Les acides nucléiques sont des polymères de nucléotides</i>	102
On détruit la conformation des protéines par la chaleur, un pH extrême ou certaines substances	73	ADN	103
Après dénaturation, certaines protéines retrouvent <i>in vitro</i> leur conformation native	73	La forme native de l'ADN est une hélice double formée de deux chaînes antiparallèles, de séquence nucléotidique complémentaire	103
Des chaperons provoquent le repliement des chaînes protéiques	74	L'ADN perd sa structure au moment où les deux brins se disjoignent	108
Enzymes	75	Beaucoup de molécules d'ADN sont refermées sur elles-mêmes	109
Le site actif d'un enzyme est une cavité bordée d'acides aminés qui fixent les substrats et catalysent la réaction	75	Le nombre d'enlacements, le tortillement et le vrillage définissent la superstructure d'un ADN	110
Les protéases découpent les protéines en diminuant l'énergie d'activation de la réaction d'hydrolyse de la liaison peptidique	76	<i>L'ARN: structure chimique fondamentale et rôle dans l'expression des gènes</i>	111
Des coenzymes sont indispensables à certaines réactions enzymatiques	78	<i>Principes régissant la synthèse des protéines et des acides nucléiques et schéma de menuiserie macromoléculaire</i>	113
L'activité de certains enzymes dépend d'un changement de conformation induit par l'arrivée du substrat	80	<i>Synthèse des acides nucléiques</i>	114
On peut décrire l'activité catalytique d'un enzyme en termes mathématiques	81	La synthèse des acides nucléiques est régie par quatre principes	115
L'activité enzymatique est réglée par une variété de mécanismes	83	Les gènes sont organisés de façon différente chez les procaryotes et chez les eucaryotes	116
Anticorps	86	Les transcrits primaires d'ARN eucaryotes sont remaniés en ARNm fonctionnels	119
Un anticorps est une protéine faite de plusieurs chaînes et comportant plusieurs domaines	86	<i>Synthèse des protéines: triple rôle de l'ARN dans la traduction</i>	119
Le site antigénique est la réplique de la surface de l'antigène	87	L'ARN messenger transmet l'information sous forme d'un code génétique à trois lettres	120
Les anticorps sont des réactifs de grande valeur pour purifier et identifier les protéines	87	Des ARNm et des trinuécléotides synthétiques ont permis de déchiffrer le code	122
Les abzymes sont des anticorps auxquels on a conféré une activité catalytique	87	La structure repliée des ARNt est essentielle à leur fonction	124
Méthodes de purification et de caractérisation des protéines	88	Les aminoacyl-ARNt synthétases activent les acides aminés en les chargeant sur des ARNt	126
La centrifugation sépare des particules et des molécules qui diffèrent par la masse ou la densité	88	Chaque type d'ARNt doit pouvoir être reconnu par une ARNt synthétase spécifique	128
L'électrophorèse résout un mélange de molécules d'après le rapport de leur charge à leur masse	92	Les ribosomes sont des machines à synthétiser les protéines	128
La chromatographie en phase liquide sépare les protéines selon la masse, la charge et l'affinité de liaison	94	<i>Étapes de la synthèse protéique</i>	133
Il existe des tests particuliers à telle ou telle protéine	96	AUG est le signal d'amorçage porté par l'ARNm	133
Résumé	97	Les facteurs d'amorçage, l'ARNt, l'ARNm et le petit élément ribosomal constituent un complexe d'amorçage	133
Questionnaire de révision	99	Les ribosomes contribuent à la synthèse protéique par leurs trois sites de liaison (A, P et E)	136
Références	100		

L'achèvement d'une chaîne exige des facteurs protéiques qui reconnaissent UAA, UAG et UGA	138	Des méthodes de fractionnement séparent les structures intracellulaires	161
<i>Résumé</i>	138	<i>Biomembranes et organites de la cellule eucaryote</i>	166
<i>Questionnaire de révision</i>	139	La membrane plasmique joue des rôles divers et fondamentaux	167
<i>Références</i>	139	Le noyau eucaryote est limité par une membrane double	167
5 ORGANISATION CELLULAIRE, STRUCTURE INTRACELLULAIRE ET DIVISION CELLULAIRE	141	Le noyau comprend une nucléole, un échafaudage fibreux et des complexes ADN•protéines	168
<i>Cellules procaryotes et cellules eucaryotes</i>	142	Le cytosol comporte beaucoup de fibres cytosquelettiques et de particules	168
La structure des procaryotes est comparativement simple	142	Le réticulum endoplasmique est un réseau de membranes internes confluentes	170
Les cellules d'eucaryotes renferment des systèmes complexes de membranes et de fibres	143	Les vésicules du Golgi remanient les protéines de sécrétion et les protéines membranaires avant de les envoyer à destination	172
Procaryotes et eucaryotes contiennent des macromolécules semblables	143	Le contenu des lysosomes est acide et pourvu d'enzymes de dégradation	173
La cellule procaryote diffère de la cellule eucaryote par sa teneur en ADN	144	Les vacuoles des plantes amassent de petites molécules et garantissent l'allongement rapide de la cellule	174
Les procaryotes diffèrent des eucaryotes par l'architecture de leur ADN	147	Les peroxysomes produisent et détruisent le peroxyde d'hydrogène	174
<i>L'architecture cellulaire vue au microscope photonique</i>	148	La mitochondrie est le siège principal de la production d'ATP dans les cellules aérobies	174
Le pouvoir de résolution de la microscopie en lumière visible est limité à environ 0,2 µm	148	Le chloroplaste est le siège de la photosynthèse	175
La microscopie à fluorescence permet de repérer des molécules et des organites reconnus par un anticorps spécifique	150	Cils et flagelles sont des prolongements mobiles de la membrane plasmique des eucaryotes	175
Le microscope à fluorescence sert aussi à mesurer la concentration locale d'ions calcium et hydronium	153	La membrane plasmique est adossée à la paroi cellulaire ou à la matrice extracellulaire	176
On obtient de meilleures images de fluorescence avec le microscope à balayage confocal	154	<i>Division cellulaire et cycle mitotique</i>	177
Les microscopes à contraste de phase et à interférence de Nomarski permettent d'observer les cellules vivantes	156	Chez les procaryotes, la réplication d'ADN est suivie immédiatement de la partition de la cellule	177
<i>Microscopie électronique</i>	158	Chez les eucaryotes, synthèse d'ADN et cytotérièse correspondent chacune à une phase du cycle cellulaire	177
La microscopie électronique à transmission repose sur la différence de diffraction d'un faisceau d'électrons	158	La mitose est un processus complexe qui répartit de façon égale les chromosomes entre les cellules filles	178
On peut déceler les détails intimes des virus et des particules intracellulaires	159	La méiose est un type de division cellulaire par lequel une cellule diploïde génère deux cellules haploïdes	181
La microscopie électronique à balayage révèle les détails de la surface des cellules et des particules	161	<i>Résumé</i>	185
<i>Triage de cellules et de leurs constituants</i>	161	<i>Questionnaire de révision</i>	186
La cytométrie à flux continu sert à trier les cellules	161	<i>Références</i>	187

6 MANIPULATION DE CELLULES ET DE VIRUS EN CULTURE

	189
<i>Culture de micro-organismes</i>	190
Beaucoup de micro-organismes poussent en milieu de culture minimal	190
Les étalements-réplique permettent d'isoler des souches mutantes de bactéries et de levures	190
<i>Culture de cellules animales</i>	193
En culture, les cellules animales requièrent des milieux enrichis	193
La plupart des cellules animales ne poussent que sur des supports solides particuliers	193
Les cellules primaires ne vivent qu'un temps limité en culture	194
Les cellules transformées poussent sans arrêt en culture	196
<i>Hybrides cellulaires dans l'analyse génétique des cellules animales et dans la production d'anticorps monoclonaux</i>	198
Grâce aux hybrides cellulaires interspécifiques, on sait prouver qu'un gène est porté par tel ou tel chromosome	199
Les mutants pour la voie de récupération des purines et des pyrimidines sont de bons marqueurs de sélection	200
Les hybridomes sont des hybrides lymphocytaires qui produisent des anticorps monoclonaux	201
<i>Virus: structure et fonction</i>	202
Les capsides virales consistent en l'arrangement régulier de quelques types de protéines	202
Le spectre d'hôte de la plupart des virus est étroit	204
La méthode des plages permet de dénombrer les virus avec précision et de les cloner	205
Le cycle infectieux des virus est de type lytique ou de type lysogène	205
Dans leurs recherches, biochimistes et généticiens ont recours à quatre types de virus bactériens	206
Les virus végétaux ont permis démontrer que l'ARN peut servir de matériel génétique	208
Selon la composition de leur génome et le mode de synthèse de leur ARNm, on divise les virus animaux en six classes	208
<i>Les radio-isotopes: des auxiliaires indispensables pour suivre les événements cellulaires</i>	212
Divers facteurs fixent le choix d'un radio-isotope	213

On décèle les radio-isotopes par autoradiographie ou par comptage précis	214
Dans les expériences de pulse-chasse, on doit tenir compte des réservoirs intracellulaires de précurseurs	215
Des expériences de marquage permettent d'évaluer le temps que prend la synthèse d'une macromolécule	216
L'expérience de Dintzis a montré que la synthèse de la chaîne protéique progresse de l'extrémité aminée à l'extrémité carboxylique	216
<i>Résumé</i>	218
<i>Questionnaire de révision</i>	219
<i>Références</i>	220

7 TECHNOLOGIE DE L'ADN RECOMBINANT

	221
<i>Clonage à l'aide de vecteurs plasmidiens</i>	222
Les plasmides sont des molécules d'ADN extrachromosomiques qui se répliquent de façon indépendante	222
On peut modeler les plasmides de <i>E. coli</i> pour en faire des vecteurs de clonage	222
Le clonage de plasmides permet d'isoler des fragments d'ADN à partir d'un mélange complexe de ceux-ci	224
<i>Construction de plasmides recombinés</i>	225
Les enzymes de restriction incisent les molécules d'ADN en des séquences bien particulières	225
Beaucoup d'enzymes de restriction produisent des fragments d'ADN à bouts collants	226
L'ADN ligase rétablit une liaison covalente entre les fragments de restriction	227
On insère facilement des fragments de restriction dans des vecteurs plasmidiens	228
<i>Synthèse chimique d'ADN pour divers usages</i>	228
<i>Construction d'une bibliothèque génomique à l'aide de vecteurs de clonage dérivés du phage λ</i>	229
On a remodelé l'ADN du phage λ en vecteur de clonage, en conservant au virion le pouvoir de s'assembler <i>in vitro</i>	230
Le clonage dans λ fournit des bibliothèques idéales d'ADN génomique d'organismes supérieurs	231
Pour cloner des fragments de taille supérieure, on se sert de cosmides et d'autres vecteurs	233
<i>Construction d'une bibliothèque d'ADNc</i>	234

On obtient des ADNc en répliquant les ARNm purs en présence de transcriptase inverse	235	De la protéine au gène et du gène à la protéine, grâce à la méthode de recombinaison des ADN	25
Un enzyme transforme aisément les ADNc en ADN bicaténares faciles à cloner	235	<i>Résumé</i>	25
<i>Identification de clones dans une bibliothèque d'ADN génomique ou d'ADNc</i>	236	<i>Questionnaire de révision</i>	25
On peut trier une bibliothèque d'ADN par hybridation sur un filtre	237	<i>Références</i>	26
On emploie comme sonde certains ADNc ou des oligonucléotides synthétiques	238	8 DE L'ANALYSE GÉNÉTIQUE EN BIOLOGIE MOLÉCULAIRE	26
Le clonage par expression interposée identifie un clone d'après les propriétés de la protéine qu'il code	240	<i>Recherche et caractérisation de mutants</i>	26
<i>Analyse et séquençage de l'ADN cloné</i>	240	Les mutations sont dominantes ou récessives	26
On choisit l'enzyme de restriction qui sépare l'ADN cloné de son vecteur	240	Les mutations consistent en altérations, soit légères, soit profondes de l'ADN	26
L'électrophorèse en gel sépare les molécules d'ADN selon leur taille	242	Les mutations apparaissent spontanément, mais on peut aussi les produire	26
On sait établir la carte de restriction d'un fragment d'ADN cloné	243	Chez l'Homme, certaines maladies sont dues à des mutations spontanées	26
L'électrophorèse en gel sous champ pulsé sépare les grandes molécules d'ADN	244	Diverses méthodes de criblage génétique servent à identifier des mutants	26
Le séquençage de fragments d'ADN clonés mène au séquençage de génomes entiers	245	L'analyse par complémentation indique si deux mutations frappent le même gène	27
<i>Recherche d'acides nucléiques particuliers dans des mélanges complexes</i>	248	On peut disséquer génétiquement certaines voies métaboliques ou autres	27
Le transfert Southern repère des fragments d'ADN singuliers	248	Grâce à des mutants suppresseurs, il est possible de trouver des gènes qui codent des protéines à fonction concertée	27
Le transfert à la Northern permet de repérer des ARN choisis	249	<i>Cartographie génétique des mutations</i>	27
La protection contre la nucléase sert à doser certains ARN et à cartographier les régions d'ADN qui les codent	249	Les profils de ségrégation indiquent si des mutations frappent un même chromosome ou des chromosomes distincts	27
On peut déceler les sites d'amorçage de la transcription en les protégeant de la nucléase S1 puis en allongeant les amorces	251	La cartographie chromosomique permet d'assigner une mutation donnée à un chromosome déterminé	27
<i>Mise au point de systèmes d'expression pour produire de grandes quantités d'une protéine donnée</i>	252	L'étude des recombinaisons permet de situer les gènes l'un par rapport à l'autre sur un chromosome	27
Une protéine codée par un gène cloné est produite dans l'intégralité de sa chaîne par des systèmes d'expression adaptés à <i>E. coli</i>	252	Pour localiser les mutations chez l'Homme, on se sert du polymorphisme de l'ADN	27
Les systèmes d'expression eucaryotes permettent d'obtenir des protéines normalement retouchées	253	On peut situer certaines anomalies chromosomiques par analyse de striations caractéristiques	28
On peut exprimer <i>in vitro</i> des protéines codées par des gènes clonés et par des ADNc	253	<i>Clonage moléculaire de gènes identifiés par une mutation</i>	28
Réaction en chaîne en présence de polymérase: une alternative au clonage	254	En criblant des clones YAC pour y trouver des sites à séquence marquée, on est parvenu à construire la carte des chromosomes humains Y et 21	28
		On arrive à reporter la carte génétique sur la carte physique	28

On arrive à cloner beaucoup de gènes en commençant par dresser la carte physique de régions génomiques choisies	285	Il n'y a pas de corrélation entre le contenu cellulaire en ADN et la position dans l'arbre phylogénétique	312
En comparant la structure de l'ADN et son expression en ARNm chez le type sauvage et le mutant, on identifie des gènes définis par des mutation dans les régions potentielles	287	Parmi les gènes d'eucaryotes codant des protéines, près de 25 à 50 pour cent sont des gènes uniques	313
La séquence des ADNc révèle la structure de la protéine correspondante	289	Une famille de gènes se forme par doublement de gène et encode des protéines homologues	313
<i>Remplacement de gène et animaux transgéniques</i>	291	Les pseudogènes sont des copies de gènes devenus inertes	314
On peut modifier <i>in vitro</i> des sites choisis de gènes clonés	291	Gènes répétés en tandem: ceux des ARNr, des ARNt et des histones	315
Il existe plusieurs moyens de transférer de l'ADN dans des cellules eucaryotes	292	<i>Découverte des tronçons d'ADN répétés</i>	316
Chez la levure et la souris, on arrive à remplacer des gènes normaux par des allèles mutants	292	L'ADN répétitif se réassocie plus vite que l'ADN non répétitif	316
Il est possible d'introduire des gènes étrangers dans les cellules de plantes et d'animaux	296	Les expériences de réassociation ont mis en évidence trois classes d'ADN eucaryotique	317
La thérapie génique traite les maladies congénitales par transgène interposé	299	<i>ADN de séquence simple</i>	318
<i>Résumé</i>	300	Les eucaryotes supérieurs contiennent plusieurs types d'ADN de séquence simple	318
<i>Questionnaire de révision</i>	301	La majeure partie de l'ADN de séquence simple est concentré dans certaines régions des chromosomes	319
<i>Références</i>	302	La prise d'empreintes sur l'ADN est basée sur la différence de taille des enfilades d'ADN de séquence simple	319
► II^e Partie		<i>ADN moyennement redondant et éléments d'ADN mobiles</i>	320
Pilotage de l'activité cellulaire par le noyau	304	Les éléments mobiles bactériens se déplacent sous forme d'ADN	323
9 ANATOMIE MOLÉCULAIRE DES GÈNES ET DES CHROMOSOMES	307	Certains éléments mobiles d'eucaryotes migrent sous forme d'ADN	326
<i>Définition moléculaire du gène</i>	308	Les cellules eucaryotes contiennent deux classes principales de rétrotransposons	328
La plupart des gènes procaryotes sont dépourvus d'introns et ceux qui codent des protéines de fonction complémentaire sont groupés en opéron, source d'ARNm polycistronique	308	La plupart des éléments mobiles de levure sont des rétrotransposons viraux	328
La plupart des unités de transcription eucaryotiques produisent des ARNm monocistroniques	308	Les plus fréquents éléments mobiles rencontrés chez <i>Drosophila</i> sont les rétrotransposons <i> copia </i>	333
Les unités de transcription eucaryotes simples fournissent un seul ARNm	309	Les principaux éléments mobiles de mammifères, LINE et SINE, sont des rétrotransposons non viraux	334
Les unités de transcription complexes des eucaryotes donnent naissance chacune à un choix d'ARNm	309	Des exemplaires rétrotransposés d'ARN cellulaires sont présents dans les chromosomes d'eucaryotes	336
Certains gènes ne codent aucune séquence protéique	310	<i>Réarrangements de portée fonctionnelle dans l'ADN chromosomique</i>	338
<i>Organisation des gènes au sein des chromosomes</i>	311	Les salmonelles commutent leur antigène flagellaire en inversant la région qui régit la transcription de leur gène	338
Le génome des eucaryotes supérieurs comporte une bonne part d'ADN «non fonctionnel»	311		

Les types conjuguants de levure commutent par conversion génique	339	
Les antigènes superficiels des trypanosomes subissent de fréquentes commutations <i>via</i> une conversion de gènes	341	
Une amplification d'ADN généralisée aboutit à la formation de chromosomes polytènes	343	
Une amplification locale d'ADN touche les gènes d'ARNt et d'autres gènes de certaines cellules d'eucaryotes	343	
Les gènes d'immunoglobulines de vertébré sont issus d'une réunion de segments de gènes après délétion programmée de l'ADN intercalaire	344	
<i>Assemblage de l'ADN cellulaire en chromosomes</i>	344	
Les chromosomes procaryotiques sont des molécules d'ADN refermées et tassées sur elles-mêmes, pourvues d'une seule origine de réplication	344	
Dans la chromatine, l'ADN nucléaire des eucaryotes est associé aux histones, des protéines très bien conservées	346	
La chromatine se trouve sous forme dilatée ou condensée	347	
<i>Caractéristiques morphologiques et fonctionnelles des chromosomes d'eucaryotes</i>	349	
Le nombre et la forme des chromosomes sont caractéristiques de l'espèce	349	
Les protéines non histones servent de charpente structurale aux grandes boucles d'ADN composant les chromosomes	349	
Outre les histones et les protéines de charpente, la chromatine contient de petites quantités d'autres protéines fixées à l'ADN	354	
Chaque chromosome est formé d'une seule molécule linéaire d'ADN	354	
Après coloration, chaque chromosome présente une striation particulière	354	
L'hétérochromatine est constituée de régions chromosomiques qui ne se décondensent pas	355	
Trois éléments fonctionnels sont indispensables à la réplication et à la transmission immuable des chromosomes	355	
On utilise les chromosomes artificiels de levure pour cloner des fragments d'ADN pouvant atteindre un million de bases	359	
<i>Résumé</i>	359	
<i>Questionnaire de révision</i>	360	
<i>Références</i>	361	
		10 RÉPLICATION, RÉPARATION ET RECOMBINAISON DES MOLÉCULES D'ADN
		<i>Traits généraux de la réplication des chromosomes</i>
		L'ADN se réplique de façon semi-conservatoire
		L'ADN est presque toujours copié dans les deux sens
		La réplication d'ADN commence en des sites chromosomiques bien déterminés
		<i>Réplication d'ADN chez E. coli</i>
		La protéine DnaA amorce la réplication d'ADN chez <i>E. coli</i>
		La protéine DnaB est une hélicase qui détord le duplex d'ADN
		Une primase catalyse la formation d'amorces d'ARN pour la synthèse d'ADN
		À la fourche de réplication, l'un des brins se forme de façon discontinue sur une série d'amorces
		L'ADN polymérase III synthétise à la fois le brin avancé et le brin retardé
		Brin avancé et brin retardé sont synthétisés de concert
		L'attachement de la protéine Tus aux sites de terminaison met fin à la réplication
		<i>Réplication de l'ADN d'eucaryotes</i>
		Les protéines d'eucaryotes qui répliquent l'ADN de SV40 sont, partie similaires, partie différentes des protéines en jeu dans la réplication chez <i>E. coli</i>
		La télomère synthétase empêche le brin retardé de se raccourcir progressivement lors de la réplication de l'ADN eucaryote
		<i>Rôle des topo-isomérases dans la réplication d'ADN</i>
		Les topo-isomérases de type I relâchent l'ADN en incisant et rescellant l'un des brins du duplex d'ADN
		Les topo-isomérases de type II modifient la topologie de l'ADN en incisant et rescellant d'un coup les deux brins d'ADN
		À la fin de la réplication, les topo-isomérases de type II servent à libérer les molécules refermées sur elles-mêmes
		Les topo-isomérases de type II séparent aussi les chromatides-filles non refermées sur elles-mêmes

<i>Réparation de l'ADN</i>	385	L'ARN polymérase de <i>E. coli</i> amorce en général la transcription en une position unique sur la matrice d'ADN	411
La correction sur épreuves opérée par l'ADN polymérase répare les erreurs de copie	385	Les sites de fixation des protéines aux régions régulatrices de <i>lac</i> ont été identifiées par l'analyse de séquences régulatrices mutées et par la recherche d'empreintes sur l'ADN	412
Divers mécanismes réparent les lésions infligées à l'ADN par le milieu	386	L'ARN polymérase s'attache à des séquences particulières du promoteur	413
Chez <i>E. coli</i> , la réparation par excision élimine les volumineux adduits chimiques produits par la lumière UV et les cancérogènes	387	Le protomère σ^{70} de l'ARN polymérase joue le rôle de facteur d'amorçage	414
Les généticiens ont découvert les gènes d'eucaryotes qui réparent l'ADN	388	Les dimères de protomères α s'attachent à la région -40/-60 des promoteurs d'ARNr	416
<i>Recombinaison entre sites d'ADN homologues</i>	389	La fixation du répresseur <i>lac</i> à l'opérateur <i>lac</i> empêche l'ARN polymérase d'amorcer la transcription	416
Le modèle de recombinaison de Holliday est attesté par l'observation des structures intermédiaires présumées	389	La plupart des répresseurs sont des homodimères comportant des hélices α qui s'insinuent dans deux grands sillons adjacents de l'ADN de l'opérateur	418
Chez <i>E. coli</i> , la recombinaison utilise trois voies analogues auxquelles prend part la protéine RecA	391	Le complexe AMPc•CAP exerce une commande positive sur l'opéron <i>lac</i>	421
L'intégration des phages λ en des sites spécifiques ressemble à un événement de recombinaison homologue	395	La fixation coopérative d'AMPc•CAP et d'ARN polymérase à la région de commande de <i>lac</i> active la transcription	423
L'étude des levures offre maintenant une ouverture sur la recombinaison méiotique	396	La transcription à partir de tous les promoteurs bactériens est commandée par des mécanismes semblables, mais distincts	423
Une conversion de gène peut se produire près du point d'enjambement au cours de la recombinaison réciproque	396	Au départ de certains promoteurs, l'amorçage de la transcription est assujettie à d'autres facteurs sigma	424
<i>Résumé</i>	400	La variété d'ARN polymérase composée de σ_{54} est assujettie à des protéines qui se fixent à de sites amplificateurs éloignés du site d'amorçage de la transcription	425
<i>Questionnaire de révision</i>	401	<i>Commande des gènes d'eucaryotes: résultats et principes généraux</i>	426
<i>Références</i>	402	La plupart des gènes d'eucaryotes supérieurs sont ajustés par commutation de leur transcription	427
11 COMMANDE DE L'AMORÇAGE DE LA TRANSCRIPTION	405	Chez les eucaryotes, les séquences régulatrices de l'ADN se trouvent souvent à plusieurs kilobases de distance des sites d'amorçage de la transcription	428
<i>Régulation de l'opéron lac de E. coli telle que l'a découverte l'analyse génétique</i>	406	<i>Structure et fonctionnement des ARN polymérases nucléaires d'eucaryote</i>	430
Les enzymes codés par l'opéron <i>lac</i> sont sujets à induction et à répression	407	Trois polymérases sont nécessaires à la synthèse des divers ARN d'eucaryotes	430
Les mutations de <i>lacI</i> se manifestent par une expression constitutive de l'opéron <i>lac</i>	407	Les ARN polymérases d'eucaryotes ont une composition en monomères très complexe	430
Les mutations constitutives de l'opérateur délimitent le site de fixation du répresseur <i>lac</i>	408		
Les mutations dans le promoteur empêchent l'expression de l'opéron <i>lac</i>	409		
La régulation de l'opéron <i>lac</i> est régie par des séquences d'ADN adjacentes auxquelles s'attachent des protéines codées à distance	409		
<i>Mécanismes moléculaires de l'amorçage transcriptionnel chez les bactéries</i>	411		
L'induction de l'opéron <i>lac</i> entraîne une synthèse accrue d'ARNm <i>lac</i>	411		

Le plus grand protomère de l'ARN polymérase II comprend une répétition carboxyle-terminale essentielle	432	Certains facteurs de transcription sont assujettis à des hormones liposolubles	4
L'ARN polymérase II amorce la transcription sur des séquences d'ADN correspondant à la coiffe 5' des ARNm	433	Plusieurs hormones peptidiques donnent un signal de phosphorylation dirigé vers certains facteurs de transcription	4
<i>Séquences cis-régulatrices dans les ADN d'eucaryotes</i>	435	<i>Influence de la structure chromatinienne sur l'amorçage de la transcription chez les eucaryotes</i>	4
La boîte TATA place l'ARN polymérase en vue d'amorcer la transcription de beaucoup de gènes	435	Noyés dans l'hétérochromatine, certains gènes s'expriment difficilement	4
Des éléments voisins du promoteur contribuent à la régulation de nombreux gènes d'eucaryotes	436	Les régions d'ADN qui ne subissent pas de transcription sont résistantes à l'ADNase I	4
La transcription par l'ARN polymérase II est souvent stimulée par des sites amplificateurs éloignés	439	La méthylation des cytosines de vertébrés se limite à une catégorie de gènes passifs	4
La transcription de la plupart des gènes d'eucaryotes est soumise à une série d'éléments régulateurs	441	<i>Transcription par l'ARN polymérase I</i>	4
<i>Facteurs de transcription chez les eucaryotes</i>	442	Tous les gènes de pré-ARNr d'eucaryotes se ressemblent	4
Les facteurs de transcription connus ont été identifiés par des techniques biochimiques et génétiques	442	Le seul rôle essentiel de l'ARN polymérase I est de synthétiser le pré-ARNr	4
Maints facteurs de transcription sont des protéines composites formées de domaines fonctionnels distincts	445	L'ARN polymérase I emploie des facteurs d'amorçage particuliers à l'espèce	4
Les domaines des facteurs de transcription eucaryotes qui se fixent à l'ADN présentent une variété de structures protéiques	447	<i>Transcription par l'ARN polymérase III</i>	4
La polyvalence régulatoire des facteurs de transcription est augmentée par leur faculté de former des hétérodimères	452	Les gènes d'ARNt fixent des facteurs d'amorçage composés de plusieurs protomères	4
Le domaine effecteur des facteurs de transcription comporte toutes sortes de séquences d'acides aminés	452	Le gène d'ARNr 5S recrute trois facteurs d'amorçage	4
<i>Complexe d'amorçage de la transcription par l'ARN polymérase II</i>	453	TBP est nécessaire à l'amorçage de la transcription par les trois ARN polymérases d'eucaryotes	4
Le complexe d'amorçage transcriptionnel est constitué de nombreuses protéines assemblées dans un ordre bien défini	453	<i>Autres systèmes de transcription</i>	4
Les activateurs transcriptionnels influencent l'assemblage du complexe d'amorçage	456	Le bactériophage T7 et ses proches expriment des ARN polymérases monomériques, peu sujettes à régulation	4
Certaines protéines régulatrices d'eucaryotes fonctionnent comme répresseur	456	La transcription de l'ADN mitochondrial porte la marque des bactériophages, bactéries et noyaux eucaryotes	4
<i>Modulation de l'activité des facteurs de transcription eucaryotes</i>	456	Les chloroplastes contiennent une ARN polymérase homologue à l'enzyme de <i>E. coli</i>	4
Maints facteurs de transcription ne s'expriment que dans certains types cellulaires	457	Les archaebactéries possèdent une ARN polymérase et d'éventuels facteurs généraux de transcription qui ressemblent à ceux du noyau des eucaryotes	4
		<i>Résumé</i>	4
		<i>Questionnaire de révision</i>	4
		<i>Références</i>	4

12 ACHÈVEMENT DE LA TRANSCRIPTION, MATURATION DES ARN ET RÉGULATION POST- TRANSCRIPTIONNELLE

485

Achèvement de la transcription chez les prokaryotes

Quand ils ne dépendent pas de Rho, les sites de terminaison consistent en séquences typiques 486

L'atténuation met prématurément fin à la transcription 486

Le facteur Rho provoque l'arrêt de la transcription en certains sites 488

Un processus d'antiterminaison évite la fin prématurée de la transcription 490

Régulation de l'achèvement des transcrits chez les eucaryotes

En se fixant à l'ARN, la protéine Tat du virus HIV s'oppose à la terminaison précoce des chaînes d'ARN 492

Dans les cellules quiescentes, la transcription de *c-myc* s'arrête prématurément 492

Dans les conditions normales, l'ARN polymérase II fait des pauses quand elle transcrit les gènes du choc thermique de *Drosophila* 492

Maturation des ARNm chez les eucaryotes supérieurs

Les précurseurs d'ARNm s'associent à de grandes quantités de protéines nucléaires comportant des domaines de fixation à l'ARN bien conservés 494

Les protéines RNPnh remplissent plusieurs fonctions 496

Dans les cellules animales, les pré-ARNm sont raccourcis puis rapidement adénylés en des sites 3' typiques 498

Les hybrides ARN-ADN ont révélé le processus d'excision des introns 498

Les sites d'excision-épissage des pré-ARNm comportent de courtes séquences universelles 500

L'excision d'introns et l'épissage d'exons dans les pré-ARNm met en jeu deux réactions de transestérification 501

De petites particules ribonucléoprotéiques participent à l'excision-épissage 501

Chez certains organismes, un transépissage soude deux fragments de deux ARN différents 508

Les introns de groupe II capables d'auto-excision font prévoir comment ont évolué les ARNpn 508

La régulation de l'excision-épissage des ARN ajuste l'expression de certaines protéines 509

Distribution des ARNm nucléaires au sein du noyau et leur transport vers le cytoplasme

Chez les mammifères, synthèse et maturation des ARN sont confinées à certains domaines des noyaux cellulaires 513

Les complexes protéines•ARNm quittent le noyau par les pores nucléaires 515

Les structures de la coiffe 5' sont reconnues par un dispositif de transport nucléaire 516

Les pré-ARNm associés aux particules d'épissage ne sont pas entraînés vers le cytoplasme 518

Tant dans le cytoplasme que dans le noyau, l'ARNm reste associé à des protéines 518

Le transfert de certains PRNm au cytoplasme est régi par certaines protéines virales 518

Régulation de la localisation cytoplasmique, de la stabilité et de la traduction des ARN messagers

Certains ARNm sont convoyés à des sites cytoplasmiques spécifiques par des séquences contenues dans leur région 3' non traduite 521

La stabilité des ARNm cytoplasmiques varie beaucoup d'un type à l'autre 522

Dans la cellule eucaryote, la dégradation de certains ARNm est sujette à régulation 524

La traduction de quelques ARNm est régie par des protéines particulières se fixant à l'ARN 525

Maturation des ARNr et des ARNt

Des protéines viennent se fixer au pré-ARNr, qui est alors clivé et méthylé dans le nucléole 528

Les gènes d'ARN ribosomiaux servent d'organismes nucléolaires 530

L'auto-épissage des introns de groupe I de certains pré-ARNr fut le premier exemple de catalyse par un ARN 530

La maturation des pré-ARNt met en jeu des clivages de chaîne, des modifications de bases et parfois une sorte particulière d'excision-épissage 532

Retouche de l'ARN

La retouche d'un ARN de mammifère module le fonctionnement d'une protéine 535

Dans les mitochondries de trypanosomes, la retouche des ARN modifie profondément la séquence des ARNm	536	L'activation des gènes de différenciation musculaire dépend d'acides aminés particuliers à MyoD	536
Résumé	537	La protéine Id entrave l'activité de MyoD	536
Questionnaire de révision	539	En détruisant leur gène, on a précisé le rôle des protéines myogènes <i>in vivo</i>	536
Références	540	<i>Neurogenèse chez la drosophile et la souris</i>	537
13 RÉGULATION DES GÈNES DE DIFFÉRENCIATION ET EMBRYOLOGIE CHIMIQUE	543	Les soies sensorielles de <i>Drosophila</i> sont issues de foyers proneuronaux où s'expriment les protéines Achaete et Scute	537
<i>Lysogénie ou lyse cellulaire pendant l'infection de E. coli par le phage λ</i>	544	Chaque foyer proneuronal de <i>Drosophila</i> donne naissance à un unique organe sensoriel	537
Les phages mutants incapables d'adopter l'état lysogène se répartissent en trois groupes de complémentations principaux	544	La neurogenèse chez <i>Drosophila</i> et la myogenèse chez les mammifères empruntent de voies analogues mettant en jeu des protéines HBH	537
La protéine cI maintient l'état lysogène en réprimant ou en activant une transcription à partir de promoteurs distincts	545	MASH1, un homologue des protéines Achaete et Scute, commande la neurogenèse chez la souris	537
Les protéines cI et cII gouvernent l'engagement vers la lysogénie	547	La spécification d'autres types cellulaires est soumise à diverse classes de facteurs de transcription	537
Le cycle lytique ne s'enclenche qu'après dérépression du gène <i>cro</i>	548	<i>Spécification spatiale au cours de l'embryogenèse chez la drosophile</i>	537
Les protéines Cro et cI comportent des domaines semblables de fixation à l'ADN, mais chacune reconnaît à sa façon les opérateurs de λ	549	La drosophile se développe en deux étapes	537
Le choix entre la lysogénie et la lyse met en jeu des mécanismes opérant aussi dans des systèmes de différenciation plus élaborés	550	Les directives réglant l'organogenèse s'ébauchent durant l'ovogenèse et le début de l'embryogenèse	537
<i>Spécification du type cellulaire et commutation du type conjuguant chez la levure</i>	550	Des morphogènes induisent le développement à mesure de leur concentration	537
Chez la levure, beaucoup de protéines se fixant à l'ADN gouvernent l'expression de gènes spécifiant le type cellulaire	551	La régionalisation du jeune embryon est soumise à un système de quatre gènes maternels	537
La commutation du type conjuguant est soumise à la régulation transcriptionnelle du locus <i>HO</i>	554	La spécification de la région antérieure dépend du gène maternel <i>bicoid</i>	537
L'expression de <i>HML</i> et <i>HMR</i> est bloquée par des éléments de mise au repos (silenceur)	556	La protéine codée par le gène maternel <i>nanos</i> réprime la traduction de l'ARNm <i>hunchback</i> dans la région caudale de l'embryon	537
<i>Myogenèse chez les mammifères</i>	556	La protéine Hunchback ajuste l'expression de plusieurs gènes gap le long de l'axe antéro-postérieur	537
Les somites de l'embryon deviennent des myoblastes, les précurseurs des cellules musculaires squelettiques	557	Le profilage précoce sur l'axe dorso-ventral dépend de la protéine Dorsal	537
Il est possible de transformer certains fibroblastes en myotubes	558	Des gènes maternels de polarité gouvernent le profilage initial des extrémités antérieure et postérieure de l'embryon	537
Le gène <i>myoD</i> déclenche la différenciation musculaire	558	La suite du profilage antéro-postérieur dépend d'une cascade de facteurs de transcription produits par trois groupes de gènes zygotiques	537
Les protéines spécifiant les caractères musculaires sont des facteurs de transcription de la famille HBH	560	Les gènes sélecteurs gouvernent l'identité régionale et le développement des structures de l'adulte	537

<i>Homologues des complexes ANT-C et BX-C de drosophile chez les mammifères</i>	584
Les gènes Hox de mammifères sont des homologues colinéaires des gènes HOM-C de drosophile	584
Les mutations de gènes Hox produisent des transformations homéotiques chez l'embryon de souris	585
Résumé	587
Questionnaire de révision	588
Références	590

► III^e Partie **Construire la cellule et entretenir sa réserve d'énergie** 592

14 STRUCTURE DES MEMBRANES:

LA MEMBRANE PLASMIQUE	595
<i>Architecture générale des membranes lipidiques</i>	596
<i>Toutes les membranes se composent de lipides et de protéines</i>	596
<i>La bicouche phospholipidique est l'unité structurale de base des membranes biologiques</i>	599
<i>Les bicouches phospholipidiques possèdent une fluidité bidimensionnelle qui dépend de leur composition et varie avec la température</i>	599
<i>Plusieurs types d'arguments plaident en faveur de l'universalité de la bicouche phospholipidique</i>	602
Les bicouches phospholipidiques et les membranes biologiques forment des compartiments fermés	603
<i>Protéines membranaires</i>	604
Les protéines entrent de plusieurs façons en interaction avec les membranes	604
Les protéines transmembranaires comportent de longues séquences d'acides aminés hydrophobes enchâssés dans la bicouche phospholipidique	604
On extrait les protéines membranaires par des détergents ou des solutions salines concentrées	604
Beaucoup de protéines intrinsèques comportent une série d'hélices α transmembranaires	606
Les porines sont des protéines transmembranaires composées d'une série de brins β	609
Certaines protéines intrinsèques s'arriment à la membrane par des chaînes glucidiques fixées par covalence	610

Aux faces membranaires, des enzymes solubles effectuent une catalyse interfaciale	612
On peut déterminer expérimentalement l'orientation des protéines dans les membranes	612
<i>Glycoprotéines et glycolipides</i>	612
Beaucoup de protéines intrinsèques contiennent des glucides liés par covalence à leur domaine extracytoplasmique	613
Beaucoup de glycolipides résident dans la membrane de la surface des cellules	614
<i>Principes régissant l'organisation membranaire</i>	615
Les protéines membranaires intrinsèques sont toujours implantées de façon asymétrique dans la bicouche lipidique	615
Les deux feuillets membranaires ont une composition lipidique différente	616
La technique de cryofracture suivie de cryodécapage permet d'observer les deux faces membranaires au microscope électronique	616
La plupart des protéines intrinsèques et des lipides membranaires se déplacent dans le plan des feuillets membranaires	616
Certaines protéines membranaires entrent en interaction avec des éléments du cytosquelette	616
L'érythrocyte possède une membrane plasmique particulière, arrimée fermement au cytosquelette	620
<i>Régions spécialisées de la membrane plasmique</i>	623
La membrane plasmique des cellules polarisées comprend deux zones de composition et de fonction différentes	623
Les jonctions étanches élèvent une barrière aux frontières de l'organisme et limitent la diffusion des composants membranaires	625
Les desmosomes soudent les cellules adjacentes et les jonctions lacunaires permettent aux petites molécules de diffuser d'une cellule à ses voisines	628
Résumé	628
Questionnaire de révision	629
Références	631

15 TRANSPORT AU TRAVERS DES MEMBRANES CELLULAIRES 633

<i>Principaux types de protéines porteuses membranaires</i>	634
<i>Diffusion de petites molécules à travers les bicouches de phospholipides</i>	635

<i>Transport de molécules particulières par des catalyseurs à sens unique</i>	636	Des antiporteurs de protons permettent aux vacuoles des cellules végétales d'accumuler des ions et des métabolites	65
Trois caractères principaux distinguent le transport uniport de la diffusion passive	637	Le potentiel de la membrane plasmique des cellules de plantes, champignons et bactéries dépend d'un pompage de protons	66
On peut concevoir deux types de transporteurs	638	Des systèmes symport à protons assurent l'accumulation de nombreux nutriments par les bactéries	66
Le glucose pénètre dans les érythrocytes par une perméase de type uniport	638	<i>Osmose, pertuis à eau et ajustement du volume cellulaire</i>	66
<i>Tunnels à ions, composition ionique intracellulaire et potentiel électrique membranaire</i>	640	La pression osmotique entraîne un flux d'eau à travers les membranes	66
La cellule maintient à travers sa membrane plasmique des gradients ioniques et un potentiel électrique	640	Le flux osmotique d'eau à travers les membranes emprunte des tunnels aqueux	66
Certains tunnels à K^+ engendrent le potentiel électrique membranaire	641	Certaines cellules animales sont capables de modifier leur volume en réglant leur pression osmotique interne	66
Le flux d'ions à travers les membranes biologiques est entraîné par des gradients de concentration et par le potentiel électrique	643	Une modification de la pression osmotique intracellulaire provoque l'ouverture des stomates des feuilles	66
<i>Transport actif d'ions aux dépens d'ATP</i>	644	<i>Résumé</i>	66
Il existe trois sortes de pompes à ions (P, V et F)	644	<i>Questionnaire de révision</i>	66
Le couplage de l'hydrolyse d'ATP au pompage ionique par les ATPases de classe P met en jeu un mécanisme cinétique ordonné	647	<i>Références</i>	66
La Na^+,K^+ -ATPase maintient constante la concentration d'ions Na^+ et K^+ dans les cellules animales	648	16 SYNTHÈSE DES PROTÉINES DESTINÉES AUX MEMBRANES, AU MILIEU ET AUX LYSOSOMES	66
Les membranes des lysosomes et des vacuoles contiennent des H^+ -ATPases de type V	650	<i>Synthèse des lipides membranaires</i>	66
Le transporteur multidrogue est à la fois une pompe mue par l'ATP et un tunnel à Cl^- dépendant de l'ATP	651	La synthèse de phospholipides s'effectue au contact des membranes	66
<i>Co-transport catalysé par des symporteurs et des uniporteurs</i>	652	Des protéines membranaires particulières permettent aux phospholipides de s'équilibrer dans les deux feuillettes de la bicouche membranaire	66
L'entrée d'acides aminés et de glucose dans beaucoup de cellules animales emprunte des symporteurs à Na^+	652	Les phospholipides migrent du réticulum endoplasmique aux autres membranes cellulaires	66
Un antiporteur expulse les ions Ca^{2+} de la cellule en échange d'ions Na^+	654	<i>Sites de synthèse des protéines destinées aux organites et aux membranes</i>	66
La bande 3 est un antiporteur d'anions qui échange des anions Cl^- contre des anions HCO_3^- à travers la membrane érythrocytaire	655	Les protéines codées par le génome nucléaire se forment toutes sur les mêmes ribosomes cytosoliques	66
L'action concertée de la H^+,K^+ -ATPase et de l'antiporteur d'anions acidifie le contenu gastrique tout en maintenant la neutralité du pH cytosolique	657	Les ribosomes attachés aux membranes font la synthèse de protéines de type différent de celles produites sur les ribosomes libres	66
<i>Transporteurs protéiques membranaires chez les plantes et les procaryotes</i>	659	<i>Processus général de synthèse des protéines de sécrétion, des protéines lysosomiales et des protéines membranaires</i>	66
Des pompes à protons et des tunnels à ions établissent un potentiel électrique et un puissant gradient de concentration de H^+ à travers la membrane des vacuoles végétales	659		

Les protéines de sécrétion néosynthétisées sont confinées dans la lumière du RE rugueux	676	Les oligosaccharides liés à N ont une structure différente de ceux qui sont fixés à O	699
Plusieurs organites participent à la sécrétion des protéines	677	Les oligosaccharides se constituent à partir de dérivés nucléotidiques de sucre	700
Les protéines de sécrétion cheminent toutes du RE rugueux aux vésicules du Golgi, puis de là aux vésicules sécrétoires	677	Les oligosaccharides liés à O se forment par ajouts successifs de monosaccharides	703
La génétique permet d'élucider la sécrétion de protéines chez la levure	678	La membrane du RE et celle du Golgi renferment des perméases pour les dérivés nucléotidiques de sucre	703
Les glycoprotéines de la membrane plasmique suivent la même voie de maturation que les protéines sécrétées continuellement	680	Les divers oligosaccharides liés à N partagent certains traits structuraux qui évoquent un précurseur commun	704
<i>Transport des protéines de sécrétion à travers la membrane du RE et insertion des protéines membranaires dans la membrane du RE</i>	681	Les oligosaccharides liés à N sont remodelés par retrait et ajouts successifs de résidus monosaccharidiques	704
Les protéines de sécrétion naissent avec une séquence-signal qui les oriente vers le RE, puis est élaguée	682	Le remaniement des oligosaccharides liés à N s'achève dans les vésicules du Golgi	706
Plusieurs récepteurs protéiques permettent à la membrane du RE de reconnaître les séquences-signal	683	On peut connaître l'ordre des étapes de la voie de sécrétion des protéines en observant le type de remaniement introduit dans les oligosaccharides liés à N	707
Les polypeptides traversent la membrane du RE en s'insinuant dans des tunnels formés d'éléments protéiques	686	Les oligosaccharides liés à N et ceux qui sont liés à O contribueraient à stabiliser les protéines de sécrétion et les protéines membranaire en formation	708
Des protéines-chaperons hydrolysant l'ATP empêchent le repliement anormal des chaînes et contribuent à la translocation des protéines de sécrétion au sein du RE	687	Les résidus mannose phosphorylés aiguillent certaines protéines vers les lysosomes	709
Des séquences topogènes permettent aux protéines membranaires intrinsèques de s'orienter correctement dans la membrane du RE	688	Certaines déficiences génétiques ont contribué à préciser le rôle de la phosphorylation du mannose	711
<i>Modifications post-traductionnelles des protéines de sécrétion et des protéines membranaires dans le RE rugueux</i>	694	<i>Mécanisme et régulation du transport par des vésicules faisant la navette entre le RE et l'appareil de Golgi</i>	711
Des liaisons disulfure se forment dans la lumière du RE peu après la synthèse de la chaîne	694	Deux types de vésicules tapissées convoient les protéines d'une vésicule à l'autre	711
Des chaperons protéiques concourent au repliement des protéines néoformées	695	La clathrine forme un réseau enrobant les vésicules et les puits tapissés	711
Les oligomères protéiques s'assemblent dans le RE	696	Une protéine à rôle de chaperon catalyse la dépolymérisation de la cage de clathrine des vésicules tapissées	713
<i>Contrôle de qualité au sein du RE</i>	697	Un type de vésicule tapissée, dépourvue de clathrine, sert au transport entre le RE le Golgi ainsi que entre les diverses parties du Golgi	713
Seules les protéines correctement repliées passent du RE rugueux à l'appareil de Golgi	697	La génétique et la biochimie permettent d'élucider les étapes du transport vésiculaire	714
Les protomères orphelins et les chaînes mal repliées sont détruits dans le RE	698	Une famille de petites protéines fixant GTP aiguillerait les vésicules transporteuses jusqu'à leur destination correcte	716
Certaines protéines ont la particularité d'être retenues dans le RE rugueux ou d'y être renvoyées par le <i>cis</i> -Golgi	698	<i>Tri et maturation des protéines membranaires et des protéines de sécrétion dans le Golgi et la post-Golgi</i>	718
<i>Glycosylation des protéines: étapes successives dans le RE d'abord, dans l'appareil de Golgi ensuite</i>	699		

Certaines protéines sont retenues dans le Golgi par des séquences de leur domaine transmembranaire	719	Dans la glycolyse, l'ATP est formé par une phosphorylation au niveau du substrat
La sécrétion sur commande et la sécrétion en continu des protéines utilisent des vésicules bien distinctes	719	Certaines cellules d'eucaryotes dégradent le glucose en l'absence de O ₂
Plusieurs clivages protéolytiques se produisent au cours des étapes finales de maturation des protéines de sécrétion et des protéines membranaires	720	<i>Mitochondries et métabolisme des glucides et des lipides</i>
La maturation protéolytique de l'insuline a lieu dans des vésicules sécrétoires acides tapissées de clathrine	722	Les membranes externe et interne de la mitochondrie diffèrent par leur structure et leur fonction
<i>Répartition des protéines membranaires récupérées de la surface de la cellule</i>	722	L'acétyl CoA est un intermédiaire clé dans le catabolisme mitochondrial du pyruvate et des acides gras
Dans l'endocytose par récepteur interposé, des récepteurs de la surface de la cellule sont engloutis via des vésicules tapissées de clathrine	722	Le cycle du citrate oxyde le groupe acétyle de l'acétyl CoA en CO ₂ et réduit NAD ⁺ et FAD en NADH et FADH ₂
Le récepteur de lipoprotéines de faible densité (LDL) emprisonne et engloutit des particules chargées de cholestérol	724	Les électrons sont transférés du NADH et du FADH ₂ à l'O ₂ moléculaire par des protéines transporteuses d'électrons
L'étude de récepteurs LDL mutants a révélé un signal qui provoque leur engloutissement dans un puits tapissé	724	Un même gradient électrochimique de protons sert à former l'ATP au dépens d'ADP et de P _i tant chez les bactéries que dans les mitochondries et les chloroplastes
Les ligands se découplent de leur récepteur au sein d'organites acides, les endosomes tardifs/CURL	726	<i>Force motrice protonique, production d'ATP et transport de métabolites</i>
La transferrine distribue le fer aux cellules par l'intermédiaire d'un récepteur endocyté	727	Des vésicules fermées sont indispensables à la synthèse d'ATP
Certaines protéines endocytées restent dans la cellule, d'autres sont convoyées à travers la cellule, puis sécrétées	728	La force motrice protonique est la résultante d'un gradient de concentration de protons et d'un potentiel électrique de membrane
Plusieurs mécanismes distribuent les protéines aux divers domaines de la membrane plasmique	729	Le complexe F ₀ F ₁ couple la synthèse d'ATP au flux de protons descendant leur gradient de concentration
Virus et toxines pénètrent dans la cellule par endocytose via un récepteur	731	Le rôle de la force proton-motrice dans la synthèse d'ATP est confirmé par la reconstitution de vésicules membranaires fermées
<i>Résumé</i>	734	De nombreux transporteurs de la membrane mitochondriale interne sont entraînés par la force proton-motrice
<i>Questionnaire de révision</i>	735	Les électrons du NADH cytosolique sont importés dans la mitochondrie grâce à des protéines de la membrane interne
<i>Références</i>	737	<i>NADH, transfert d'électrons et translocation de protons</i>
17 ÉNERGÉTIQUE CELLULAIRE: FORMATION D'ATP PAR LA GLYCOLYSE ET L'OXYDATION PHOSPHORYLANTE	739	Dans la mitochondrie, le transfert d'électrons est couplé au pompage de protons
<i>Production d'énergie dans le cytosol</i>	740	La chaîne respiratoire mitochondriale transfère les électrons de NADH à O ₂
En transformant une molécule de glucose en deux molécules de pyruvate, la glycolyse fournit deux molécules d'ATP à la cellule	740	On trouve la plupart des transporteurs d'électrons rangés dans la chaîne selon leur potentiel de réduction
		Trois complexes transporteurs d'électrons possèdent des sites de pompage de protons

Le cycle Q accroît le nombre de protons transférés par le complexe de la CoQH ₂ -cytochrome- <i>c</i> réductase	767	Les deux photosystèmes, PSI et PSII, jouent un rôle différent dans la photosynthèse chez les plantes	790
Le complexe de l'oxydase du cytochrome <i>c</i> couple la réduction d'oxygène à la translocation de protons	768	PSI et PSII sont tous deux indispensables à la photosynthèse dans les chloroplastes	792
<i>Régulation métabolique</i>	770	Le photosystème PSII effectue la photolyse de H ₂ O	793
L'intensité de la respiration est soumise au taux d'ATP produit par le truchement de la force motrice protonique	770	Les électrons sont transférés de PSII à PSI	794
Un découplant endogène des mitochondries du tissu adipeux brun convertit le gradient de H ⁺ en chaleur	770	PSI est la source de NADPH	796
La vitesse de la glycolyse dépend des besoins en ATP de la cellule et est régie par de nombreux effecteurs allostériques	771	PSI sert aussi de voie au flux cyclique d'électrons	796
Les acides gras sont oxydés dans les peroxyosomes, mais sans produire d'ATP	772	Les photosystèmes PSI et PSII sont assujettis à un couplage fonctionnel	796
<i>Résumé</i>	773	<i>Métabolisme du CO₂ dans la photosynthèse</i>	797
<i>Questionnaire de révision</i>	774	La fixation de CO ₂ est catalysée par la ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase	797
<i>Références</i>	776	L'assimilation de CO ₂ s'enclenche sous l'effet de la lumière	800
18 PHOTOSYNTHÈSE	779	La photorespiration relâche du CO ₂ et consomme O ₂	800
<i>Aperçu de la photosynthèse</i>	780	Les peroxyosomes participent à la photorespiration	800
La photosynthèse a lieu dans les membranes thylacoïdes	780	Beaucoup de plantes tropicales utilisent la voie en C ₄ pour fixer le CO ₂	802
La photosynthèse comprend une phase «lumineuse» et une phase «obscur»	782	Le saccharose est distribué à tous les tissus de la plante par le phloème	
<i>Phase de capture de photons dans la photosynthèse</i>	783	19 BIOGÈNESE DES ORGANITES: MITOCHONDRIES, CHLOROPLASTES, PEROXYOSOMES ET NOYAU	809
Chaque photon de lumière est associé à une valeur discrète de quantité d'énergie	783	<i>Survol de la biogenèse des organites étrangers à la voie sécrétoire</i>	810
Le principal pigment photorécepteur est la chlorophylle <i>a</i>	783	<i>ADN mitochondrial: structure, expression, variétés</i>	812
La capture de photons par les chlorophylles du centre réactionnel provoque une séparation de charges à travers la membrane du thylacoïde	784	L'évidence d'une hérédité cytoplasmique et le séquençage d'ADN ont permis de confirmer l'existence de gènes mitochondriaux	812
<i>Étude de la photosynthèse bactérienne au niveau moléculaire</i>	786	La taille et la capacité codante de l'ADNmt varient d'organisme à organisme, preuve d'un échange d'ADN entre noyau et mitochondrie au cours de l'évolution	813
Chez les bactéries pourpres, la photosynthèse ne met en jeu qu'un seul photosystème et ne dégage pas d'oxygène	786	Les protéines codées par l'ADN mitochondrial sont synthétisées sur les ribosomes mitochondriaux	816
Le transfert de photo-électrons dans le centre réactionnel photosynthétique des bactéries pourpres produit une séparation de charges	788	Le code génétique mitochondrial diffère du code nucléaire universel et diffère aussi d'un organisme à l'autre	816
Les bactéries photosynthétiques effectuent aussi un transfert non cyclique d'électrons	790	Les ARN mitochondriaux des animaux subissent de profonds remaniements	817
<i>Aspect moléculaire de la photosynthèse chez les plantes</i>	790		

Chez l'Homme, les mutations dans l'ADN mitochondrial causent plusieurs maladies congénitales	817	Tout un éventail de séquences de ciblage acheminent les protéines et les ribonucléoprotéines au noyau
<i>Synthèse et mise en place des protéines mitochondriales</i>	819	Les récepteurs protéiques occupant les pores nucléaires capturent les protéines destinées au noyau
La plupart des protéines mitochondriales sont synthétisées sous forme de précurseurs dans le cytosol	819	<i>Résumé</i>
Certaines séquences de ciblage orientent les protéines importées par la mitochondrie vers sa matrice	820	<i>Questionnaire de révision</i>
Les séquences de ciblage vont se fixer à des récepteurs mitochondriaux	824	<i>Références</i>
Pour étudier les intermédiaires protéiques de translocation, on les laisse s'accumuler dans les compartiments mitochondriaux	824	▶ IV^e Partie
L'importation de protéines mitochondriales exige un apport d'énergie	824	Événements cellulaires
Des chaperons situés dans la matrice sont nécessaires à l'importation et au repliement des protéines mitochondriales	826	intégrés et fonctions
Les protéines sont dirigées vers les compartiments mitochondriaux adéquats par une série de signaux qui les aiguillent sur plusieurs voies	827	spécialisées
Certaines protéines mitochondriales sont indispensables à la cellule	829	20 TRANSMISSION DE SIGNAUX DE
Les protéines de la mitochondrie sont produites de façon coordonnée	829	CELLULE À CELLULE: HORMONES ET
<i>ADN des chloroplastes et biogenèse des chloroplastes et des autres plastides</i>	830	RÉCEPTEURS
L'ADN des chloroplastes comporte plus de 120 gènes différents	830	<i>Survol des voies de signalisation extracellulaires</i>
Plusieurs séquences d'importation et d'aiguillage orientent les protéines synthétisées dans le cytosol vers le compartiment approprié du chloroplaste	832	Chez les animaux, les messagers chimiques parcourent des distances très variables
La différenciation des proplastides aboutit aux chloroplastes ou aux autres types de plastides	835	Les protéines servant de récepteurs possèdent une spécificité envers le ligand et envers l'effecteur
<i>Biosynthèse des peroxysomes</i>	837	On classe les hormones selon leur solubilité et selon l'emplacement de leur récepteur
Les protéines des peroxysomes sont toutes importées du cytosol	837	Hormones lipophiles à récepteurs intracellulaires
On comprend mieux la biogenèse du peroxysome depuis qu'on étudie certaines maladies congénitales	838	Beaucoup d'hormones exercent leurs effets par le truchement de messagers seconds
<i>Échange de protéines entre cytosol et noyau</i>	840	Il existe quatre catégories principales de récepteurs fixés à la surface cellulaire
Le noyau importe ses protéines par un mécanisme sélectif	840	Synthèse, libération et dégradation des hormones sont soumises à régulation
Les pores nucléaires représentent la voie d'accès des protéines au noyau	841	<i>Identification et purification des récepteurs membranaires</i>
		On dose les récepteurs hormonaux par des épreuves fonctionnelles
		La valeur de K_D du complexe d'un récepteur superficiel avec son ligand hormonal approche la concentration de l'hormone circulante
		Les techniques d'affinité permettent de purifier les récepteurs de nature protéique
		À faute de pouvoir purifier un récepteur, on parvient souvent à cloner son gène
		<i>Récepteurs à sept passages transmembranaires dont l'action met en jeu une protéine G</i>

La fixation d'adrénaline aux récepteurs adrénergiques α et β induit des réponses spécifiques <i>via</i> l'AMPc	870	GRB2 est un adaptateur protéique qui se fixe aux RTK activés	893
Les analogues d'hormones nous révèlent certaines facettes de la structure des hormones et sont utilisés comme médicaments	871	On démontre que la protéine Sos siège dans la membrane plasmique en y attachant des domaines SH3 de GRB2	893
L'étude de récepteurs β -adrénergiques mutants a révélé les résidus qui entrent en contact avec les catécholamines	872	Une cascade de kinases très bien conservée par l'évolution transmet en aval de Ras les signaux issus des RTK	894
Une protéine G trimérique transductrice d'un signal unit le récepteur β -adrénergique à l'adénylate cyclase	873	Les récepteurs à activité de kinase couplés à Ras transmettent les signaux extracellulaires par une voie banale	896
La protéine intracellulaire de commutation G_{sa} fait partie de la superfamille des GTPases	876	Les récepteurs de facteurs de conjugaison de la levure sont couplés à des protéines G qui transmettent les signaux à la MAP kinase	897
Plusieurs toxines bactériennes transforment les protéines G de façon irréversible	877	<i>Autres messagers seconds de grande importance</i>	899
La même adénylate cyclase est activée par tel complexe récepteur•ligand et inhibée par tel autre	879	L'action des ions Ca^{2+} sur la cellule dépend de sa concentration cytosolique et est souvent modulée par la calmoduline	899
Tant la spécificité de la protéine G que celle du ligand dépendent de régions analogues dans tous les récepteurs à sept passages transmembranaires	881	Les ions Ca^{2+} et l'AMPc gouvernent la dépolymérisation du glycogène musculaire	901
La dégradation d'AMPc est elle aussi soumise à régulation	881	L'inositol 1,4,5- <i>tris</i> phosphate provoque la libération d'ions Ca^{2+} du RE	901
<i>Rôle de l'AMPc dans la régulation du métabolisme cellulaire</i>	881	L'utilisation de réserves intracellulaires de Ca^{2+} est aussi régie par les récepteurs de ryanodine des cellules musculaires et des neurones	904
L'AMPc et plusieurs autres messagers seconds intracellulaires activent des protéine-kinases particulières	881	Le 1,2-diacylglycérol active la protéine kinase C	904
L'adrénaline stimule la glycogénolyse dans le foie et les muscles	882	<i>Voies de signalisation composites</i>	905
Les enzymes du métabolisme du glycogène sont assujettis aux protéine-kinases dépendant de l'AMPc	884	Certains RTK activés stimulent la phospholipase C	905
La cascade des kinases sert à coordonner l'action de plusieurs enzymes et à amplifier le signal hormonal	885	De multiples protéines G transmettent aux effecteurs protéiques les signaux issus des récepteurs à sept passages transmembranaires	905
Les réponses à l'AMPc varient selon le type de cellules en cause	885	Dans les cellules de mammifère, $G_{\beta\gamma}$ agit par lui-même sur certains effecteurs	906
<i>Récepteurs doués d'activité de tyrosine kinase</i>	886	<i>Récepteur d'insuline et ajustement de la glycémie</i>	907
Les protéines à domaine SH2 s'attachent à des résidus phosphotyrosine particuliers des RTK activés	886	L'insuline exerce des effets à court terme sur le métabolisme du glucose et à long terme sur la prolifération cellulaire	907
La protéine Ras est un rouage essentiel des voies de signalisation RTK chez de nombreux eucaryotes	887	Le signal issu de l'insuline emprunte une voie comportant une protéine «relais» soluble qui n'entre pas en contact avec le récepteur	910
L'étude génétique du développement de l'œil de la drosophile a mis au jour trois protéines qui relient des RTK à une cascade kinasique	891	Insuline et glucagon équilibrent de concert la glycémie	911
		<i>Régulation des récepteurs postés à la surface de la cellule</i>	912
		La densité des récepteurs de beaucoup d'hormones peptidiques est réduite par endocytose	912

L'activité des récepteurs membranaires est souvent modulée par phosphorylation	913	<i>Propriétés moléculaires des tunnels protéiques à ions commandés par le potentiel membranaire</i>	94
<i>De la membrane plasmique au noyau</i>	914	Le blocage du potentiel d'un lambeau de membrane permet de mesurer les flux ioniques à travers un tunnel à Na ⁺ ou à K ⁺ isolé	94
Certains facteurs de transcription sont activés par plusieurs voies de signalisation au départ de récepteurs liés à une protéine G ou de récepteurs à activité de tyrosine kinase	914	Les conducteurs voltaïques à ions possèdent tous une structure moléculaire de même type	94
Les STAT sont des facteurs de transcription activés par des protéine-tyrosine kinases associées à des récepteurs siégeant à la surface cellulaire	916	L'étude des mutants «shaker» de drosophile a permis de cloner toute une famille de conducteurs voltaïques à potassium	94
<i>Résumé</i>	918	L'étude de mutants toxicorésistants a permis d'identifier les résidus d'acide aminé qui bordent la lumière du conducteur à potassium	94
<i>Questionnaire de révision</i>	920	Le conducteur à potassium «shaker» se constitue à partir de quatre protomères	94
<i>Références</i>	922	Le segment S4 est une jauge de potentiel électrique	94
21 CELLULES NERVEUSES	925	Le blocage du tunnel est dû au segment N-terminal du conducteur «shaker»	94
<i>Neurones, synapses et circuits neuronaux</i>	926	Il existe plusieurs catégories de conducteurs à potassium	95
Les diverses régions d'un neurone ont chacune un rôle particulier	926	Le conducteur à Na ⁺ possède quatre domaines transmembranaires homologues équivalents au protomère constituant le conducteur à potassium	95
La synapse est une zone spécialisée où le neurone entre en communication avec d'autres cellules	929	Les conducteurs voltaïques à ions semblent tous descendre d'un gène ancestral commun	95
Les neurones sont organisés en circuits	931	<i>Synapses et transmission des influx</i>	95
<i>Potentiel d'action et propagation des impulsions électriques</i>	932	Les synapses électriques transmettent l'influx de manière presque instantanée	95
Le potentiel de repos est principalement entretenu par des tunnels à potassium ouverts	933	Les synapses chimiques sont lentes ou rapides, excitatrices ou inhibitrices, et sont capables d'amplifier et d'interpréter le signal reçu	95
En s'ouvrant et se fermant, les tunnels à ions font varier le potentiel membranaire de façon spécifique et prévisible	935	<i>Un même neuromédiateur peut se fixer à divers types de récepteurs</i>	95
En l'absence de tunnels voltaïques à cations, la dépolarisation membranaire ne s'étend que sur de courtes distances	935	<i>Transmission synaptique et récepteur nicotinique d'acétylcholine</i>	95
Lors du passage du potentiel d'action, l'ouverture des tunnels voltaïques à sodium dépolarise la membrane neuronale	936	L'acétylcholine est synthétisée dans le cytosol et mise en réserve dans les vésicules synaptiques	95
Les protéines qui forment les tunnels voltaïques à sodium conduisent le potentiel d'action dans un seul sens et sans décrétement	938	L'exocytose des vésicules synaptiques est déclenchée par l'ouverture des tunnels voltaïques à calcium et l'élévation du taux de calcium du cytosol	95
Durant le potentiel d'action, l'ouverture des tunnels voltaïques à potassium repolarise la membrane plasmique	938	Plusieurs protéines arrangent les vésicules synaptiques contre la membrane plasmique et participent à leur exocytose et à leur endocytose	96
Le déplacement de quelques ions sodium ou potassium suffit à déclencher un potentiel d'action	939	Le récepteur nicotinique d'acétylcholine est un conducteur de cations régi par le ligand	96
La myélinisation accroît la vitesse de conduction de l'influx nerveux	940		
Le potentiel d'action se déclenche selon le mode du tout ou rien par sommation de perturbations électriques	943		

L'exocytose spontanée de vésicules synaptiques cause de légères dépolarisations de la membrane postsynaptique	962	Dans maintes synapses du cerveau de mammifère, un nouveau récepteur de glutamate sert de détecteur à coïncidence dans la potentiation à long terme	982
Chacun des cinq protomères composant le récepteur nicotinique d'acétylcholine contribue à former le tunnel à cations	963	La potentiation à long terme mettrait en jeu une signalisation rétrograde par un gaz, le monoxyde d'azote	982
L'hydrolyse de l'acétylcholine met fin au signal de dépolarisation	965	Les souris dépourvues d'un enzyme de l'hippocampe, la protéine kinase activée par le calcium• calmoduline, ont une faculté de potentiation à long terme et de reconnaissance spatiale déficiente : ébauche d'une psychologie moléculaire	984
<i>Rôle des autres neuromédiateurs, de leurs récepteurs et de leurs transporteurs</i>	965	<i>Résumé</i>	984
Le γ -aminobutyrate et la glycine sont des neuromédiateurs activant des récepteurs à canaux ioniques siégeant dans plusieurs synapses inhibitrices	966	<i>Questionnaire de révision</i>	986
Le récepteur muscarinique d'acétylcholine du muscle cardiaque active une protéine G et ouvre des tunnels à K^+	967	<i>Références</i>	987
Chaque type de récepteur de catécholamine module un messager second intracellulaire particulier	967	22 MICROFILAMENTS: MOTILITÉ CELLULAIRE ET AJUSTEMENT DE LA FORME DE LA CELLULE	991
Un récepteur de sérotonine module les tunnels à potassium par l'intermédiaire d'une activation de l'adényl cyclase	968	<i>Filaments d'actine</i>	992
Les transporteurs de neuromédiateurs sont la cible de drogues telles que la cocaïne	970	Toutes les cellules eucaryotes contiennent une grande quantité d'actine	994
Certains peptides agissent à la fois comme neuromédiateurs et comme neurohormones	970	La séquence de l'actine s'est peu modifiée au cours de l'évolution	994
Les endorphines et les enképhalines sont des neurohormones qui inhibent la transmission des influx algésiques	971	L'ATP maintient l'un contre l'autre les deux lobes du monomère d'actine	994
<i>Transduction sensorielle: les systèmes visuel et olfactif</i>	971	Les molécules d'actine G s'assemblent en longs polymères d'actine F	995
La fermeture des canaux à Na^+ provoquée par la lumière hyperpolarise les bâtonnets rétinien	972	L'actine F est un polymère hélicoïdal formé de protomères identiques	995
L'absorption d'un photon isomérisé le rétinal et active l'opsine	974	L'actine F possède une polarité structurale et fonctionnelle	996
La molécule de GMPc est un transducteur primordial	975	<i>Superstructures à base d'actine</i>	996
Les bâtonnets accordent leur sensibilité à la luminosité ambiante	976	Le cytosquelette d'actine se compose de faisceaux et de réseaux de filaments	997
La vision des couleurs met en jeu trois espèces d'opsines pigmentées	977	Les faisceaux et réseaux d'actine sont arrimés à la membrane	998
L'odorat met en jeu plus d'un millier de récepteurs différents couplés à une protéine G	978	Le réseau cortical de filaments d'actine consolide la membrane cellulaire et fixe les protéines membranaires intrinsèques	999
<i>Mémoire et neuromédiateurs</i>	979	La dystrophine arrime directement un réseau cortical d'actine à la matrice extracellulaire	1000
Mutations qui influencent l'apprentissage et la mémoire chez <i>Drosophila</i>	979	Des faisceaux d'actine soutiennent les digitations saillant sur la membrane	1002
Chez <i>Aplysia</i> , le réflexe de rétraction branchial est susceptible de trois formes rudimentaires d'apprentissage	979	<i>Dynamique de la polymérisation de l'actine</i>	1003
		La polymérisation de l'actine <i>in vitro</i> passe par trois étapes	1003
		L'ATP accélère l'assemblage à un bout du filament d'actine	1003

Certaines toxines fongiques déstabilisent l'équilibre monomère-polymère	1006	L'actine et la myosine II forment une structure qui ressemble au sarcomère	103:
Certaines protéines qui s'attachent à l'actine déterminent la longueur des filaments d'actine	1006	Les filaments contractiles d'actine s'attachent à des endroits particuliers de la membrane plasmique	103:
Une famille de protéines découpent l'actine F en formant de nouvelles extrémités	1007	La myosine II rend les membranes corticales plus rigides	103:
Les filaments d'actine sont stabilisés par des protéines qui coiffent l'actine	1009	Actine et myosine II sont essentielles dans la cytocinèse	103:
Plusieurs types de motilité dépendent de la polymérisation de l'actine	1010	Les myosines I et V déplacent des charges enrobées de membrane le long des filaments d'actine	103:
<i>Myosine: un moteur moléculaire qui fait se mouvoir la cellule</i>	1012	Myosine fixée aux membranes dans le mouvement des vésicules	103:
Les myosines forment une famille de protéines caractérisées par des domaines distincts, tête, cou et queue	1014	La cellule sait migrer même en l'absence des myosines I et II	103:
La queue de la myosine détermine l'attachement de la molécule aux membranes ou son assemblage en filaments épais	1015	<i>Motilité cellulaire</i>	104:
La tête de la myosine est une ATPase activée par l'actine	1015	Le déplacement du fibroblaste dépend d'une polymérisation et d'un réarrangement concertés de filaments d'actine	104:
Les têtes de myosine glissent le long des filaments d'actine	1015	Les mouvements amiboïdes mettent en jeu une transition gel-sol réversible du réseau d'actine	104:
La tête de la myosine se propulse de 11 nm chaque fois qu'une molécule d'ATP est consommée	1017	Le déplacement cellulaire est régi par divers messagers seconds et par des voies de transmission de signaux	104:
Les diffractogrammes X nous révèlent la structure fine du domaine moteur de la myosine	1018	<i>Résumé</i>	104:
Des changements de conformation de la tête couplent la scission de l'ATP au mouvement	1020	<i>Questionnaire de révision</i>	104:
<i>Le muscle: une machine spécialisée dans la contraction</i>	1021	<i>Références</i>	104:
Certains muscles se contractent, d'autres développent une tension	1022	23 MICROTUBULES ET FILAMENTS INTERMÉDIAIRES	105:
Le muscle strié est un arrangement régulier de filaments d'actine et de myosine	1023	<i>Structure des microtubules</i>	105:
Dans le muscle lisse, filaments épais et filaments minces ne forment pas de faisceaux réguliers	1025	La paroi du microtubule est occupée par les protomères de tubuline	105:
Pendant la contraction et le relâchement, les filaments épais et les filaments minces glissent les uns contre les autres	1025	Les microtubules constituent toute une série de structures permanentes ou transitoires	105:
Un troisième système filamentueux de longues protéines charpente le sarcomère	1026	Les microtubules croissent à partir de centres organisateurs	105:
Le calcium du réticulum sarcoplasmique déclenche la contraction	1026	Le centre organisateur de microtubules fixe la polarité des microtubules cellulaires	105:
L'activation des chaînes légères de myosine par le calcium ajuste la contraction des muscles lisses et des muscles d'invertébrés	1030	La diversité des tubulines est due à la multiplicité de leurs gènes et à la variété des modifications chimiques subies	105:
<i>Actine et myosine dans les cellules autres que celles des muscles</i>	1032	<i>Dynamique microtubulaire</i>	106:
		L'assemblage et le démantèlement des microtubules s'effectuent par addition et soustraction préférentielles de dimères $\alpha\beta$ à l'extrémité (+)	106

L'instabilité dynamique est un trait inhérent aux microtubules	1064	Le kinétochore est le dispositif d'ancrage du centromère chromosomique	1091
La colchicine et d'autres médicaments perturbent l'assemblage et le démantèlement des microtubules	1066	Les centromères de levure ne s'attachent qu'à un seul microtubule	1094
<i>Protéines associées aux microtubules</i>	1067	La duplication et la migration du centrosome lors de l'interphase et de la prophase amorcent l'assemblage de l'appareil mitotique	1096
Les protéines associées aux microtubules rassemblent ceux-ci en faisceaux	1067	Durant la prophase, la dynéine cytoplasmique et les protéines apparentées à la kinésine entraînent les kinétochores et les centrosomes	1097
Les protéines MAP stabilisent les microtubules	1070	L'assemblage de l'appareil mitotique repose sur la dynamique des microtubules	1098
<i>Kinésine, dynéine et transport intracellulaire</i>	1070	À la métaphase, les forces appliquées au kinétochore entraînent les chromosomes dans le plan de l'équateur du fuseau	1100
Le transport axonal rapide longe les microtubules	1070	Durant l'anaphase, les chromosomes se séparent et le fuseau s'allonge	1100
Les microtubules servent de glissière au déplacement des granules pigmentaires	1072	Les microtubules astraux dictent l'endroit où la cellule va subir la cytodivision	1103
Les vésicules intracellulaires bordées de membrane se déplacent le long des microtubules	1072	À chaque mitose, la cellule végétale construit une nouvelle paroi	1105
Des protéines particulières font se mouvoir les vésicules le long des microtubules	1075	<i>Filaments intermédiaires</i>	1106
La kinésine est un moteur moléculaire qui gagne le bout (+) du microtubule	1075	On connaît cinq types de filaments intermédiaires	1106
La dynéine est un moteur moléculaire dirigé vers le bout (-) du microtubule	1078	Les protomères protéiques des FI ont tous une structure semblable	1109
Divers moteurs moléculaires sont associés aux vésicules bordées de membrane	1078	Les filaments intermédiaires sont des polymères sujets à un remaniement continu dans la cellule	1111
<i>Cils et flagelles: structure et mouvements</i>	1079	La phosphorylation du domaine N-terminal régit la polymérisation des filaments intermédiaires lors de la mitose	1112
Les cils et les flagelles d'eucaryotes sont tous soutenus par des faisceaux de paires de microtubules	1080	Les protéines associées aux filaments intermédiaires attachent ceux-ci aux membranes et aux microtubules	1113
Le battement des cils et des flagelles est dû au glissement ajusté des doublets de microtubules externes les uns contre les autres	1084	<i>Résumé</i>	1116
Les bras de dynéine exercent une force de glissement	1084	<i>Questionnaire de révision</i>	1118
Les dynéines de l'axonème sont des moteurs moléculaires polycéphales	1086	<i>Références</i>	1119
Pour que le flagelle batte, il faut que le glissement soit converti en incurvation	1086	24 SOCIÉTÉ DE CELLULES:	
La génétique révèle le rôle des microtubules centraux et des rayons	1087	INTERACTIONS ENTRE CELLULES ET ENTRE CELLULES ET MATRICE	1123
Le calcium gouverne le sens de la nage	1087	<i>La matrice extracellulaire: constituants principaux et fonctions</i>	1124
Les axonèmes naissent sur les corpuscules basaux	1088	<i>Les collagènes, une classe de protéines fibreuses à multiples fonctions</i>	1126
Les corpuscules basaux ressemblent fort aux centrioles	1089	L'infrastructure des collagènes est un module protéique en hélice triple	1127
<i>Dynamique microtubulaire et moteurs protéiques dans la mitose</i>	1090		
L'appareil mitotique est une architecture microtubulaire qui disjoint les chromosomes	1091		

La plupart des exons des collagènes codent une série de séquences Gly-X-Y	1128	Les N-CAM accolent les cellules des tissus nerveux et musculaire en l'absence de Ca^{2+}	11
L'association du collagène en fibrilles dépend d'interactions latérales entre les hélices triples	1128	Le déplacement des leucocytes dans les tissus dépend de l'interaction consécutive de protéines d'adhérence cellulaire	11
Après dénaturation, les polypeptides du collagène ne reforment plus d'hélice triple	1131	<i>Attachement de la cellule à ses voisines: jonctions cellulaires</i>	11
Les chaînes de procollagène s'assemblent en hélice tri-hélicoïdale dans le RE rugueux et sont retouchés dans l'appareil de Golgi	1131	La rigidité des tissus dépend de trois types de desmosomes	11
Le procollagène sécrété s'agrège en fibrilles	1133	En unissant les desmosomes ponctuels, les filaments intermédiaires consolident les épithélium	11
Les mutations de la molécule de collagène révèlent plusieurs aspects de sa structure et de sa biosynthèse	1134	Les hémidesmosomes arriment les cellules épithéliales à la lame basale	11
Les collagènes forment diverses structures	1134	Les jonctions lacunaires laissent passer les petites molécules d'une cellule à ses voisines	11
Le collagène de type IV constitue la trame laminaire de la lame basale	1135	La paroi des tunnels cylindriques de la jonction lacunaire est constituée d'une protéine transmembranaire appelée connexine	11
<i>Hyaluronanes et protéoglycanes</i>	1136	<i>Profilage dorso-ventral au cours de l'embryogenèse</i>	11
L'hyaluronate est un polysaccharide chargé négativement, extrêmement long, qui forme des gels hydratés	1136	Le développement de l'embryon est piloté par un processus d'induction	11
L'hyaluronate empêche l'adhésion cellulaire et facilite la migration des cellules	1137	Tant chez les invertébrés que chez les vertébrés, la facteur de prolifération transformant β (TGF β) exerce plusieurs effets inducteurs	11
Les protéoglycanes forment une large famille de macromolécules présentes à la surface cellulaire et dans la matrice extracellulaire	1139	L'homologue de TGF β codé par le gène <i>decapentaplegic</i> commande le profilage dorso-ventral de l'embryon de drosophile	11
Les protéoglycanes retiennent de nombreux facteurs de croissance	1142	Une cascade d'inductions ajuste le développement de l'embryon de xénope	11
<i>Protéines matricielles de jonction et leurs récepteurs à la surface des cellules</i>	1143	<i>Formation des viscères et organisation des tissus</i>	11
La laminine et le nidogène sont les principales protéines de structure de toutes les lames basales	1143	La lame basale est indispensable à la différenciation de beaucoup de cellules épithéliales	11
Les intégrines sont des récepteurs superficiels qui font adhérer la cellule à la matrice et aux cellules voisines	1144	L'induction du rein est réglée par des contacts directs de cellule à cellule	11
Les fibronectines arriment de nombreuses cellules aux fibres collagènes et aux autres composants de la matrice	1146	Hedgehog régit la plan d'organisation de la patte du poulet et des ailes de la drosophile	11
La fibronectine détermine l'adhésion des cellules à un support	1148	<i>Régulation de la différenciation cellulaire par contact direct entre cellules</i>	11
Les fibronectines favorisent la migration des cellules	1149	La protéine de surface Boss est un ligand inducteur envers le récepteur Sev	11
<i>Protéines d'adhérence intercellulaire</i>	1150	Les protéines de surface Notch et Delta gouvernent le va-et-vient des signaux entre de nombreux types de cellules	11
Les protéines d'adhérence maintiennent les cellules accolées	1150	<i>Détermination du chemin suivi par les axones en croissance</i>	11
La cadhérine E est une protéine d'adhérence cruciale entre cellules épithéliales	1150	On peut reconnaître à loisir un neurone déterminé et l'étudier expérimentalement	11
Les cadhérines modulent la morphogenèse et la différenciation	1152		

Le cône de croissance guide la migration et l'élongation de l'axone en croissance	1176	Un même facteur fait mûrir l'ovocyte et entrer les cellules somatiques en mitose	1203
Les cônes des divers neurones naviguent individuellement en suivant une voie particulière	1177	Le cycle cellulaire dans le jeune embryon dépend de la synthèse et de la dégradation de la cycline B	1207
Divers composants des matrices extracellulaires favorisent la croissance des neurones	1178	Les premiers événements mitotiques sont enclenchés par une phosphorylation des lamines et d'autres protéines sous l'effet de MPF	1212
Trois gènes gouvernent la progression dorso-ventrale des neurones de <i>C. elegans</i>	1179	Une destruction et une déphosphorylation de protéines enclenchent les dernières phases de la mitose	1216
Une substance chémoattractrice apparentée à Unc6 est synthétisée dans le plancher du tube neural des vertébrés	1180	L'étude biochimique des extraits d'ovules de xénope a révélé le rôle régulateur central que joue MPF dans la mise en route de la mitose	1219
Certains signaux extracellulaires barrent la route aux axones	1181	<i>Régulation de l'activité de MPF</i>	1219
Les cônes de croissance naviguent individuellement le long d'axones choisis	1182	Le protomère catalytique de MPF est codé par le gène <i>cdc2+</i> chez <i>S. pombe</i>	1221
La lame basale de la future jonction neuromusculaire régit la différenciation du nerf et du muscle en régénération	1185	Le protomère catalytique de MPF comporte des sites activateurs et inhibiteurs phosphorylables	1222
<i>Structure et fonction de la paroi végétale</i>	1187	La structure de la kinase 2 cycline-dépendante laisse entrevoir comment une phosphorylation gouverne l'activité de MPF	1224
Les molécules de cellulose forment de longues microfibrilles rigides	1188	L'entrée en mitose est régie par plusieurs mécanismes qui jouent sur l'activité de MPF	1224
D'autres polysaccharides s'associent à la cellulose pour former une matrice pariétale complexe	1188	<i>Commande de l'entrée en phase S</i>	1226
Les parois cellulaires contiennent de la lignine ainsi qu'une glycoprotéine étirée riche en hydroxyproline	1190	La <i>cdc28</i> de <i>S. cerevisiae</i> est l'équivalent fonctionnel de <i>cdc2</i> chez <i>S. pombe</i>	1227
Les plantes croissent par élongation cellulaire sous l'effet des auxines	1190	Le facteur d'enclenchement de la phase S comprend un protomère catalytique et la cycline G_1	1228
L'orientation des nouvelles microfibrilles de cellulose est déterminée par le réseau de microtubules	1192	Divers hétérodimères Cdc28•cycline commandent la traversée du cycle chez <i>S. cerevisiae</i>	1230
Chez les plantes supérieures, les plasmodesmes font communiquer les cytoplasmes de cellules adjacentes	1193	Les complexes Cdc28•cycline- G_1 activeraient des facteurs de transcription lors du passage au point de DÉPART	1230
<i>Résumé</i>	1194	Un complexe Cdk•cycline exerce une régulation sur un facteur d'amorçage de l'ADN chez le xénope	1231
<i>Questionnaire de révision</i>	1196	<i>Réglage du cycle cellulaire dans les cellules de mammifère</i>	1232
<i>Références</i>	1197	Le point de restriction des cellules de mammifère est le pendant du point de DÉPART des cellules de levure	1232
25 RÉGULATION DU CYCLE CELLULAIRE DANS LA CELLULE EUCARYOTE	1201	Plusieurs Cdk et cyclines régissent le passage des cellules de mammifère par les étapes du cycle cellulaire	1232
<i>Phases du cycle cellulaire</i>	1202	Deux classes de gènes exprimés en présence de facteur de croissance forcent la cellule mammalienne au repos en G_0 à reprendre le cycle cellulaire	1235
<i>Systèmes expérimentaux choisis pour l'étude du cycle cellulaire</i>	1203		
<i>Commande de l'entrée en mitose et de la mise au repos</i>	1203		

Le facteur de transcription E2F doit être actif pour que la cellule s'engage en phase S	1236	Les produits des oncogènes cellulaires agissent solidairement pour transformer des cellules et induire des tumeurs	12
<i>Rôle des points de contrôle dans la régulation du cycle cellulaire</i>	1237	Les aberrations chromosomiques habituellement présentes dans les tumeurs dénotent la présence d'oncogènes	12
La présence d'ADN non répliqué empêche le noyau d'entrer en mitose	1238	Certaines susceptibilités héréditaires au cancer chez l'Homme suggèrent l'existence de gènes suppresseurs de tumeur	12
Un handicap dans l'assemblage du fuseau mitotique empêche le noyau d'achever sa mitose	1239	<i>Virus à ADN en tant qu'agents transformants</i>	12
Les dommages causés à l'ADN empêchent l'entrée en phase S et la mitose	1239	Les virus à ADN peuvent transformer des cellules non permissives en intégrant leur génome au hasard dans le génome de la cellule-hôte	12
<i>Résumé</i>	1240	La transformation par les virus à ADN dépend de l'interaction de quelques protéines agissant séparément sur la cellule	12
<i>Questionnaire de révision</i>	1242	<i>Les virus à ARN en tant que virus transformants</i>	12
<i>Références</i>	1243	Le cycle infectieux productif des rétrovirus passe par leur intégration au génome de la cellule-hôte	12
26 LE CANCER	1247	Les rétrovirus oncogènes transducteurs contiennent des oncogènes dérivés de proto-oncogènes cellulaires	12
<i>Propriétés des cellules tumorales</i>	1248	On a pu assembler <i>in vitro</i> des rétrovirus transducteurs non oncogènes	12
Les cellules des tumeurs malignes se disséminent pour former des métastases	1248	Après insertion dans le génome de l'hôte, des rétrovirus tumorigènes à effet lent peuvent activer des proto-oncogènes de leur voisinage	12
La malignité s'accompagne de perturbations des interactions entre cellules	1249	<i>Virus tumorigènes chez l'Homme</i>	12
À l'état tumoral, les cellules ont perdu la maîtrise normale de leur prolifération	1251	<i>Substances chimiques cancérogènes</i>	12
<i>Place de la culture de cellules dans la recherche sur la cancer</i>	1251	La plupart des cancérogènes chimiques ne sont actifs qu'après avoir subi une modification chimique	12
Les fibroblastes, les cellules épithéliales et les cellules non adhérentes poussent facilement en culture	1251	Le potentiel cancérogène des substances chimiques dépend de leur interaction avec l'ADN	12
Certaines cellules en culture donnent naissance à des lignées cellulaires immortelles	1252	<i>Rôle des radiations et de la réparation de l'ADN dans la cancérogenèse</i>	12
Certains facteurs de croissance sériques sont indispensables à la survie prolongée des cultures de cellules	1253	Une réparation de l'ADN inefficace ou sujette à l'erreur perpétue les mutations	12
La transformation maligne s'exprime par de nombreuses modifications des cellules en culture	1254	Chez l'Homme, certains défauts des systèmes de réparation de l'ADN sont associés à une fréquence élevée de cancers	12
La transformation peut être causée par la transcription d'oncogènes	1258	<i>La cancérogenèse met en cause plusieurs facteurs et plusieurs étapes</i>	12
<i>Oncogènes et leur protéine: classification et propriétés</i>	1258	Les tératocarcinomes seraient dus à des anomalies épigénétiques	12
Les premiers oncogènes identifiés le furent dans des virus et de l'ADN tumoral	1258	Certains agents cancérogènes agissent de façon synergique	12
Cinq types de protéines participent au réglage de la prolifération cellulaire	1259		
Les protéines oncogènes agissent de diverses façons sur les systèmes qui règlent la multiplication cellulaire	1260		
L'apoptose, un suicide cellulaire programmé, est un moyen de prévenir la malignité	1267		

Dans la nature, les cancers sont imputables à l'interaction de divers événements consécutifs	1287
<i>Le cancer chez l'Homme</i>	1287
<i>Résumé</i>	1288
<i>Questionnaire de révision</i>	1289
<i>Références</i>	1291

▣ L'IMMUNITÉ 1295

<i>Savoir de la question</i>	1296
Les anticorps se fixent aux épitopes et possèdent deux domaines fonctionnels	1297
L'anticorps se combine de façon réversible à l'antigène	1299
Il existe plusieurs classes d'anticorps	1300
Les anticorps sont fabriqués dans les lymphocytes B	1302
Le système immunitaire est doué d'une plasticité extraordinaire	1302
La théorie de la sélection clonale est la clef de voûte de l'immunologie moderne	1303
Le système immunitaire possède une mémoire	1304
Les autres voies de la réponse immunitaire sont prises en charge par les lymphocytes T	1306
Cellules B et cellules T se reconnaissent à des marqueurs de leur surface	1306
Les macrophages jouent un rôle central dans la stimulation des réponses immunitaires	1307
Les cellules intervenant dans la réponse immunitaire circulent dans tout l'organisme	1308
La tolérance du soi est un concept central de l'immunologie	1309
L'immunopathologie étudie les dérèglements du système immunitaire	1309
<i>Anticorps, cellules B et origine de leur diversité</i>	1310
Les classes d'anticorps se distinguent par la structure de leur chaîne lourde	1310
Les anticorps comportent plusieurs domaines structuraux	1310
Les domaines N-terminaux des chaînes H et L ont une structure très variable qui forme le site de combinaison à l'antigène	1311
Plusieurs mécanismes contribuent à assurer la diversité des anticorps	1315
La diversité des anticorps provient de réarrangements de l'ADN	1315
Un seul processus de recombinaison suffit à produire la diversité des chaînes légères	1315

L'imprécision du montage augmente la diversité des régions V	1318
Les chaînes lambda proviennent de plusieurs régions constantes	1319
Les régions variables des chaînes H sont puisées dans trois bibliothèques	1319
Les séquences de reconnaissance des réactions d'aboutage sont pratiquement toutes identiques	1320
La synthèse des immunoglobulines rappelle celle des autres protéines extracellulaires	1321
<i>La lymphopoïèse: maturation des lymphocytes préliminaire à la rencontre d'un antigène</i>	1321
Les lymphocytes B suivent un programme de réorganisation de gènes	1321
La lymphopoïèse génère 10^{11} types cellulaires distincts	1322
L'efficacité du système immunitaire requiert une exclusion allélique	1323
Le réarrangement et l'expression des gènes sont gouvernés par des facteurs de transcription	1323
<i>Lymphocytes T</i>	1324
Il existe deux types de molécules réceptrices sur les cellules T	1325
Les récepteurs des cellules T reconnaissent des antigènes étrangers sous forme de combinaison avec une molécule du soi	1325
Apprentissage intrathymique des cellules T à réagir avec les protéines étrangères et à tolérer les protéines du soi	1329
Les cellules T répondent à la présence d'antigène en détruisant la cellule porteuse ou en sécrétant des facteurs protéiques	1330
<i>L'immunopoïèse: réponses immunitaires liées à l'intrusion d'un antigène</i>	1332
L'activation de la cellule B requiert la collaboration de la cellule B avec la cellule T _H	1333
L'activation résulte d'une stimulation cellulaire	1335
Les cellules B ne deviennent sécrétantes qu'après de profonds remaniements internes	1335
Le processus d'activation génère deux types de cellules: des plasmocytes et des cellules à mémoire	1335
La production d'anticorps sécrété au lieu d'anticorps de surface requiert la synthèse d'une chaîne H remaniée	1335
La commutation de classe d'anticorps implique aussi une retouche de la chaîne H	1337

Les cellules à mémoire prennent part à la réponse secondaire	1338	<i>Résumé</i>	1-4
L'activation entraîne des mutations somatiques dans les régions variables	1338	<i>Questionnaire de révision</i>	1-4
La tolérance est due en partie à la suppression de la réponse de la cellule B	1339	<i>Références</i>	1-4
		<i>Glossaire</i>	-1
		<i>Index</i>	-1