

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1 La cellule, unité morphologique et fonctionnelle des êtres vivants. La biologie cellulaire	1
A. Origine et importance de la théorie cellulaire	1
B. La Biologie Cellulaire	2
C. Aperçu général sur l'architecture et les fonctions cellulaires	4
I. La cellule eucaryote animale	4
II. De la cellule eucaryote aux tissus et aux organes	7
III. La cellule des procaryotes	8
IV. Un troisième groupe : les archaebactéries	9
V. Les virus (acaryotes)	10
VI. Les agents pathogènes pour l'Homme sont très divers	11
D. Prolifération et mort cellulaires : cycle cellulaire, chronobiologie, mort cellulaire programmée (apoptose)	12
I. Introduction	12
II. Le cycle cellulaire	12
III. La vie cellulaire obéit à des rythmes : la chronobiologie	17
IV. La mort cellulaire programmée ou apoptose	18
V. Apoptose, cycle et sénescence cellulaires	20
CHAPITRE 2 Constituants chimiques de la cellule	23
A. La matière vivante diffère de la matière inerte qui l'entoure et dont elle est issue par 3 caractères importants	23
I. Sa composition chimique est caractérisée par la notion de sélectivité	23
II. Le phénomène de catalyse biologique	23
III. Les mécanismes de régulation de la composition chimique	24
B. Constituants minéraux	24
I. L'eau	24
II. Sels minéraux	25
C. Constituants organiques	25
I. Leur organisation, les réactions chimiques qui les modifient	25
II. Les glucides constituent la plus abondante source de l'énergie chimique nécessaire au métabolisme cellulaire	26
III. Les lipides sont des éléments très divers définis non par une structure de base commune, mais par leurs caractères de solubilité	29
IV. Protides, protéines sont les constituants principaux de la matière vivante, indispensables à sa structure et à son fonctionnement	32
V. Les acides nucléiques contrôlent l'édification des macromolécules protéiques et leur séquence peptidique	41
VI. Nucléotides	48
CHAPITRE 3 Méthodes d'étude en biologie cellulaire	54
A. Introduction	54
B. La microscopie	54
I. Des tissus aux constituants morphologiques élémentaires des cellules	54
II. La visualisation de marqueurs à l'échelle cellulaire et subcellulaire	56
III. La microscopie quantitative	59
C. La biochimie	61
I. Des tissus aux molécules entrant dans leur composition	61

D. La biologie et la génétique moléculaires	63
I. L'étude de l'ADN et de ses produits, ARN et protéines	63
II. Les applications	63
E. L'électrophysiologie	67
F. L'étude de cellules vivantes	68
I. Les cultures cellulaires	68
II. L'étude de cultures cellulaires	68
III. Une application des cultures cellulaires : la fabrication des anticorps monoclonaux ..	69
G. L'interprétation des données d'une expérience nécessite la comparaison avec une (des) expérience(s) témoin(s)	72
H. Un exemple d'intégration de plusieurs techniques : Le récepteur nicotinique de l'acétylcholine localisé à la synapse neuromusculaire	75
I. L'état des connaissances autour des années 1900	75
II. Les années 1940	75
III. Les années 1960	75
IV. Les années 1970 à 1984	76
V. Les années 1980	76
VI. Depuis 1984, les travaux concernant le Rn-ACh se sont enrichis des données de la biologie moléculaire	78
VII. La fin du XX ^e , le début du XXI ^e siècle ont vu d'autres découvertes	79

CHAPITRE 4 La membrane plasmique 84

A. Généralités	84
I. La membrane plasmique est une enveloppe continue qui sépare le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire	84
II. Elle constitue une frontière par laquelle la cellule interagit avec son environnement ..	84
III. La membrane plasmique présente cinq caractéristiques	84
B. La membrane plasmique est composée très majoritairement de protéines et de lipides .85	
I. Les lipides constituent environ la moitié du poids sec de la membrane plasmique . . .	85
II. Les protéines constituent environ la moitié du poids sec de la membrane plasmique . .	86
III. Les sucres sont présents en faible quantité (de 5 à 10 % du poids sec de la membrane) .	88
C. Architecture fonctionnelle de la membrane plasmique	89
I. Les lipides sont organisés en une bicouche englobant les protéines intrinsèques	89
II. La membrane plasmique est asymétrique	90
III. La membrane plasmique présente des mouvements de ses constituants à l'échelle moléculaire.	92
IV. La membrane plasmique présente des modifications de sa composition chimique par disparition ou clivage enzymatique in situ de certains de ses lipides et protéines . .	95
V. Des régions de la membrane permettent l'augmentation de la surface d'échange avec le milieu extracellulaire	97
D. La membrane plasmique joue quatre rôles majeurs.	98
I. La communication intercellulaire par l'intermédiaire de signaux chimiques est abordée dans le chapitre 13 « Communication intercellulaire »	98
II. L'adhérence des cellules entre elles et à la matrice extracellulaire fait intervenir des molécules spécialisées de la membrane plasmique	98
III. Les phénomènes de transport au travers de la membrane plasmique peuvent être divisés en deux grands groupes	98
IV. La motilité cellulaire fait intervenir le cytosquelette et la membrane plasmique au travers de l'endo-exocytose et des phénomènes d'adhérence	100
E. Membrane plasmique et adhérence intercellulaire ou entre cellule et matrice extracellulaire	100
I. Introduction	100
II. Les CAM de la Superfamille des Immunoglobulines (Ig)	105
III. Les cadhérines constituent une deuxième superfamille de CAM.	107

IV. Les sélectines constituent une troisième famille de CAM	109
V. Les intégrines jouent à la fois le rôle de CAM et de SAM	110
F. Les phénomènes de transport sans mouvements de la membrane plasmique	125
I. Ces transports sont classés selon deux critères distincts	125
II. Les transports passifs sans perméase	126
III. Les transports passifs avec perméase	126
IV. Les transports actifs avec perméase	128
V. Le transport des ions au travers de la membrane plasmique génère le potentiel de membrane ou potentiel de repos	130
G. Les phénomènes de transport nécessitant des mouvements de la membrane plasmique : le transport des macromolécules	130
I. Quelques définitions	130
II. L'endocytose	131
III. L'exocytose	138
IV. Mécanismes communs et rôles de l'exo/endocytose	139
H. Biosynthèse et renouvellement de la membrane plasmique	141
I. Ce phénomène de renouvellement est permanent	141
II. Les étapes de la biosynthèse et du renouvellement de la membrane plasmique	141
III. Le fonctionnement cellulaire normal provoque l'apparition de « déchirures mécaniques » de la membrane plasmique qui doivent être immédiatement réparées pour éviter la mort cellulaire	143
IV. Des déformations localisées et transitoires de la membrane plasmique sont utilisées par la cellule pour explorer son environnement et se déplacer ou pour une modalité de communication intercellulaire	143
résumé	144

CHAPITRE 5 Relations des cellules avec la matrice extracellulaire.

Polarité cellulaire

147

A. Introduction	147
I. La matrice extracellulaire	147
II. La polarité cellulaire	148
B. La matrice extracellulaire associe trois types de composants	148
I. Les fibres	148
II. Les glycoprotéines assurent les interactions entre eux des constituants de la matrice et leur adhérence avec les cellules	152
III. Les polysaccharides	153
C. La lame basale	155
I. Distribution	155
II. Morphologie	155
III. Composition	155
IV. Les cellules au contact avec la lame basale possèdent des récepteurs spécifiques pour chacun de ses constituants	157
V. La lame basale est synthétisée à la fois par les cellules adjacentes, entourées par ou en contact avec elle, et par les cellules conjonctives, dans une interaction réciproque	158
VI. Fonctions de la lame basale et de ses constituants	159
D. Les molécules de la matrice extracellulaire contrôlent la polarité cellulaire	162
I. Les fibroblastes, cellules propres de la matrice extracellulaire, présentent un certain degré de polarisation	162
II. Les cellules des épithéliums unistratifiés représentent le modèle de cellule polarisée	163
III. L'établissement puis le maintien de la polarité ont pour conséquence une orientation dans le fonctionnement des cellules et lors des échanges avec leur environnement	166
IV. La mise en place puis l'entretien de la polarité cellulaire font intervenir des mécanismes et des signaux d'adressage qui diffèrent selon les domaines membranaires	168

E.	Le remodelage de la matrice joue un rôle très important, en particulier au cours du cancer	171
I.	Les cellules qui se déplacent dans la matrice extracellulaire, se frayent un chemin au travers de ses constituants	171
	résumé	174
	CHAPITRE 6 Le compartiment cytosolique	176
A.	Généralités	176
I.	Le cytoplasme de la cellule eucaryote est subdivisé en deux groupes de compartiments	176
II.	Le cytosol est un carrefour métabolique, à l'interface avec les compartiments membranaires de la cellule	176
III.	Le cytosol contient des édifices moléculaires volumineux	177
IV.	Le cytosol contribue à plusieurs mécanismes de défense et à la production d'énergie de la cellule	177
B.	Le métabolisme du glucose, la glycolyse et la production d'énergie dans le cytosol	178
I.	Les voies de dégradation et de synthèse des glucides possèdent un carrefour commun et obligatoire, le glucose-6-phosphate	178
II.	La glycolyse se déroule entièrement dans le cytosol.	179
III.	Le devenir du NADH cytosolique	179
IV.	Le devenir du pyruvate.	179
V.	Le Glucose-6-P est aussi le point de départ de deux autres voies métaboliques	179
C.	L'intervention du cytosol dans le métabolisme des lipides se traduit par la présence d'inclusions lipidiques	181
D.	Le cytosol, site de synthèse, de modifications des protéines qui seront ensuite adressées à leurs compartiments de destination	182
I.	La synthèse de toutes les protéines codées par le génome nucléaire débute dans le cytosol	182
II.	L'adressage des protéines dépend d'un signal défini dans leur séquence peptidique.	184
III.	Les protéines subissent, pendant et après la traduction, des modifications « post-traductionnelles » le plus souvent réversibles.	184
E.	Le cytosol, site de dégradation des protéines	189
I.	La protéolyse est une fonction essentielle de la vie cellulaire.	189
II.	Protéasome, biosynthèse et renouvellement des protéines cytosoliques normales	190
III.	La dégradation des protéines cytosoliques anormales s'effectue également dans les protéasomes	192
IV.	Les protéasomes sont aussi responsables de la dégradation, dans le cytosol, de protéines qui ont été adressées au préalable au réticulum endoplasmique granulaire	192
V.	Protéasome et réponse immunitaire	194
VI.	Le protéasome active le facteur de régulation de la transcription NF- κ B	196
VII.	L'activité protéasique du protéasome s'exerce à la fois dans le cytosol et dans le nucléoplasme.	197
VIII.	Le système ubiquitine-protéasome et pathologies humaines	197
F.	Le cytosol, première ligne de défense qui déclenche les mécanismes de l'immunité innée avant ceux de l'immunité adaptative	198
I.	Immunité « innée » versus immunité « adaptative »	198
II.	Des agents agresseurs pénètrent dans le cytosol par plusieurs mécanismes	198
III.	Les deux mécanismes de réponse de l'immunité innée.	199
G.	Quatre acteurs principaux du cytosol.	201
I.	Les chaperons moléculaires, présents dans toutes les cellules et très conservés au cours de l'évolution, jouent un rôle essentiel dans la vie cellulaire	201
II.	L'ubiquitine est fixée de manière covalente à des protéines, ce qui la différencie des protéines chaperons	205
III.	Les protéines G sont regroupées en deux superfamilles	206
IV.	Les ions calcium et les molécules associées	212
	résumé	216

CHAPITRE 7 La mitochondrie	219
A. Généralités	219
I. La mitochondrie possède une double membrane d'enveloppe	219
II. La mitochondrie exerce plusieurs fonctions	219
III. Elle possède son propre génome	219
B. Morphologie et composition chimique	220
I. Observées en microscopie optique, les mitochondries constituent un réseau dynamique plus ou moins ramifié qui se fragmente et fusionne en permanence	220
II. Observée en microscopie électronique en transmission, la mitochondrie est le seul organelle de la cellule animale possédant deux membranes d'enveloppe	220
C. La mitochondrie est la principale source d'ATP des cellules eucaryotes	227
I. Le cytosol produit trois types de molécules utilisées par la mitochondrie pour la synthèse d'ATP	227
3. Des acides gras à chaîne courte, certains produits par les peroxysomes, entrent aussi dans la matrice mitochondriale	228
II. Les étapes mitochondriales de la respiration cellulaire	228
III. Une molécule de glucose produit 36 molécules d'ATP	234
D. La mitochondrie exerce d'autres fonctions importantes, certaines en interaction étroite avec le réticulum endoplasmique	234
I. L'association entre une mitochondrie et une citerne du RE constitue une plate-forme fonctionnelle très spécialisée	234
II. La mitochondrie et le réticulum endoplasmique coopèrent dans la défense cellulaire contre les agents microbiens	235
III. La synthèse des hormones stéroïdes dans les cellules endocrines spécialisées	236
IV. La mitochondrie joue un rôle majeur dans le déclenchement et la régulation de la mort cellulaire	238
V. La mitochondrie contrôle d'autres voies métaboliques	238
E. Naissance, vie et mort des mitochondries	239
I. La mitochondrie possède un génome qui lui est propre	239
II. Les mitochondries proviennent de la division, de la fragmentation (fission) et/ou de la fusion de mitochondries préexistantes	242
III. L'importation dans la mitochondrie des protéines synthétisées dans le cytosol sous le contrôle du génome nucléaire	244
IV. Les protéines synthétisées sous le contrôle du génome mitochondrial sont insérées dans la membrane interne au cours de leur biosynthèse	246
V. Les phospholipides membranaires de la mitochondrie sont synthétisés à la surface du feuillet cytosolique du réticulum endoplasmique	246
VI. Renouvellement et mort des mitochondries	246
résumé	247
CHAPITRE 8 Le peroxysome	249
A. Généralités	249
B. Morphologie et composition chimique	249
I. Ultrastructure	249
II. Composition chimique du peroxysome	250
C. Fonctions des peroxysomes	251
D. Biogenèse et renouvellement des peroxysomes	252
I. Les peroxysomes proviennent du bourgeonnement d'un réseau canaliculaire existant, né du réticulum endoplasmique	252
II. Les protéines, membranaires ou matricielles, sont adressées au peroxysome après avoir été synthétisées dans le cytosol	252
III. Vie et mort des peroxysomes	254
résumé	255

CHAPITRE 9 Le cytosquelette	256
A. Généralités	256
I. Le cytosquelette regroupe des polymères fibreux auxquels sont associées d'autres protéines	256
II. Les éléments du cytosquelette se localisent dans les trois sous-compartiments suivants de la cellule eucaryote	257
III. Le terme de cytosquelette est impropre : il ne rend pas compte des remaniements permanents de ses constituants	258
IV. Le terme de cytosquelette est impropre : il ne rend pas compte des phénomènes dynamiques qu'il sous-tend	259
B. Les microfilaments (MF) d'actine et leurs protéines associées	261
I. Les microfilaments d'actine sont des polymères polarisés d'une protéine globulaire, l'actine.	261
II. Les protéines associées à l'actine	262
III. Les MF d'actine et leurs protéines associées présentent plusieurs types d'organisation dans les cellules	266
IV. Interactions des MF d'actine avec des CAM, des SAM et la matrice extracellulaire ou la lame basale.	273
C. Les microtubules et leurs protéines associées (MAP)	275
I. Les microtubules sont des tubes creux formés par la polymérisation de protéines globulaires, les tubulines	275
II. Les microtubules cytosoliques sont des polymères « instables »	275
III. Les protéines associées aux MT (MAP) jouent plusieurs rôles distincts	278
IV. Microtubules et MAP participent à l'organisation du cytosol, à celle des compartiments membranaires et aux transports intracellulaires.	281
V. Centrioles, cils, flagelles et corpuscules basaux représentent des polymères « stabilisés » de microtubules et de MAP	283
VI. Les mouvements des cils et des flagelles permettent le déplacement de cellules mobiles ou celui du milieu péricellulaire au contact de cellules fixées	286
D. Les filaments intermédiaires (FI) et leurs protéines associées représentent des polymères « stabilisés »	287
I. Les FI sont des polymères de protéines fibreuses	287
II. 4 familles de protéines constituent la superfamille des FI	288
III. Les FI sont présents dans le cytosol et le nucléoplasme	290
IV. Les protéines associées aux FI	292
V. Les FI confèrent aux cellules leur stabilité mécanique, comme l'illustrent des maladies génétiques ou acquises	294
E. Interactions entre les 3 types de cytosquelette, les protéines G monomériques de la famille Rho	296
I. L'organisation et le fonctionnement du cytosquelette sont contrôlés par des signaux d'origine extracellulaire relayés par des protéines G monomériques de la famille Rho	296
II. L'actine est utilisée par des agents pathogènes pour envahir la cellule, s'y déplacer puis quitter enfin la cellule infectée	297
III. Exemples de coopération entre les différents cytosquelettes	298
résumé	304
CHAPITRE 10 Le système endomembranaire	307
A. Généralités	307
I. Plusieurs critères définissent le système endomembranaire	307
II. Les compartiments du système endomembranaire	309
III. Les « flux membranaires » assurent un transport simultané des membranes d'enveloppe et du contenu des cavités.	309
B. Le réticulum endoplasmique (RE)	313
I. Définition et caractéristiques morphologiques	313

II. Certaines des fonctions du RE sont communes à l'ensemble des cellules eucaryotes	314
III. Les fonctions du RE dans des cellules spécialisées	335
C. L'appareil de Golgi	337
I. Définition morphologique, caractéristiques	337
II. Les fonctions de l'appareil de Golgi	338
III. Appareil de Golgi et pathologies génétiques ou acquises	345
D. Les endosomes, les phagosomes	346
I. Définition et caractéristiques morphofonctionnelles	346
II. Le compartiment endosomal constitue un carrefour entre la membrane plasmique, le cytosol, le TGN et les lysosomes	348
E. Les lysosomes	353
I. Définition morphofonctionnelle	353
II. Composants caractéristiques des lysosomes	353
V. Lysosomes et pathologie humaine	360
F. Les cinq étapes des flux membranaires	364
I. Le bourgeonnement, le détachement de vésicules recouvertes, la perte de leur revêtement (voir aussi figure 10/6)	364
II. Transport et adressage du matériel transporté	368
III. La fusion de la membrane d'enveloppe des vésicules déshabillées avec celle du compartiment « receveur »	371
IV. Le flux membranaire vectoriel permanent	373
V. Le flux membranaire de retour du Golgi au RE	375
résumé	377

CHAPITRE 11 Noyau, nucléole

382

A. Généralités	382
I. Trois caractéristiques définissent le noyau des cellules eucaryotes	382
II. Métabolisme de l'ADN et échanges nucléo-cytoplasmiques au travers de l'enveloppe nucléaire sont les deux aspects des fonctions nucléaires	384
III. Le noyau disparaît pendant la mitose	385
IV. Noyau, pathologie cellulaire, examens cytologiques et anatomopathologiques	386
B. L'organisation de l'ADN dans le noyau	388
I. Le noyau contient plusieurs segments linéaires d'ADN organisés en une double hélice, les chromosomes	388
II. Dans le nucléoplasme, l'ADN est compacté par association avec des protéines spécifiques, les histones	390
III. L'ADN associé aux histones présente plusieurs degrés de compaction dans le nucléoplasme	391
C. L'enveloppe nucléaire	393
I. L'enveloppe nucléaire est une citerne de réticulum endoplasmique interrompue par de nombreux pores nucléaires	393
II. Structure et composition chimique des pores nucléaires	395
D. La matrice nucléaire	405
I. Sa définition est biochimique	405
II. Les lamines nucléaires	405
III. Les autres constituants fibreux de la matrice nucléaire	407
IV. La matrice comporte d'autres molécules qui ne sont pas totalement solubilisées par les traitements classiques de préparation de la matrice	408
V. La matrice nucléaire structure la chromatine et organise son fonctionnement	408
VI. Enveloppe, matrice nucléaire et pathologies	412
E. Réplication de l'ADN et correction sur « éprouves »	413
F. Transcription et maturation des ARN non ribosomiaux	414
I. Les ARN sont transcrits par trois complexes enzymatiques différents, les ARN polymérases	414

II. La transcription des ARNm se déroule dans une boucle de la fibre d'ADN nucléosomique à proximité de MAR	414
III. Le gène comporte aussi des régions régulant sa transcription	415
IV. Les étapes de la transcription et de la maturation des ARNm	415
V. Après son transport dans le cytosol, l'ARNm apporte au ribosome l'information nécessaire à la synthèse protéique.	420
G. Le nucléole, site de biosynthèse des ribosomes, est aussi un compartiment nucléaire plurifonctionnel.	422
I. L'ADN ribosomal est le modèle d'un gène amplifié chez les Eucaryotes.	422
II. L'ADNr nucléolaire est transcrit par l'ARN polymérase I en un ARNr de grande taille qui subit une maturation dans le nucléole.	423
III. Transcription et maturation des ARNr sont compartimentées au sein du nucléole (figure 11/33).	425
IV. Le nucléole, compartiment plurifonctionnel, interagit avec les autres compartiments du nucléoplasme	427
H. Les lésions de l'ADN, fréquentes, multiples, sont réparées pendant l'interphase	428
I. Les lésions de l'ADN sont causées par des agents physiques et chimiques	428
II. La fréquence des lésions de l'ADN est très élevée	428
III. Les mécanismes de réparation sont très efficaces	428
résumé	429
CHAPITRE 12 Régulation de l'expression des gènes, épigénétique, cellules souches	434
A. Généralités	434
I. La synthèse protéique est un phénomène permanent	434
II. La différenciation cellulaire dépend de la régulation fine de l'expression des gènes	434
B. Épigenétique, chromatine et expression des gènes	436
I. Le contrôle épigénétique de l'expression des gènes regroupe au moins 4 types de phénomènes	436
C. Régulation de la transcription des ARNm	440
I. La transcription d'un gène nécessite la décompaction partielle de la chromatine pour rendre la double hélice d'ADN accessible	440
II. Les facteurs de régulation de la transcription se fixent à l'ADN au niveau des régions régulatrices des gènes	441
III. La fixation d'un FRT régule la transcription de gènes cibles	443
IV. Des facteurs de régulation de la transcription sont indispensables à la différenciation cellulaire et tissulaire	445
V. Trois étapes successives composent la réponse cellulaire via un FRT	447
D. Les mécanismes de régulation au niveau ARNm	448
I. La maturation des ARNm	448
II. Les ARNm sont adressés aux régions de la cellule où ils sont traduits en protéines par les ribosomes	449
III. Des petits ARN contrôlent la transcription, l'épissage, la traduction des ARNm et leur dégradation dans le cytosol	450
E. Les cellules souches, un exemple de la régulation de l'expression des gènes	454
I. On distingue plusieurs types de cellules souches (CS)	454
II. Cellules souches et médecine régénératrice	456
III. Cellules souches et cancer	460
résumé	460

CHAPITRE 13 Communication intercellulaire : la transmission chimique des informations	464
A. Introduction.....	464
I. La communication intercellulaire est l'une des caractéristiques des organismes pluricellulaires.....	464
II. Son importance en pathologie et en thérapeutique.....	464
B. La communication intercellulaire par l'intermédiaire de signaux chimiques.....	465
I. Les 4 stratégies de la communication par signaux chimiques diffèrent en fonction de la « distance » qui sépare la cellule émettrice du signal de la cellule cible.....	465
II. La communication intercellulaire fait intervenir 3 principaux types de signaux chimiques.....	466
C. Les signaux hydrosolubles et leurs récepteurs membranaires.....	469
I. Les récepteurs membranaires sont répartis schématiquement en trois grands groupes.....	469
II. Les récepteurs membranaires couplés aux protéines G hétérotrimériques.....	470
III. Les protéines G trimériques régulent l'activité de plusieurs effecteurs différents et sont le support de multiples voies métaboliques et de réponses physiologiques variées.....	477
IV. Les récepteurs-enzymes.....	482
V. Les récepteurs canaux ioniques ligand-dépendants.....	492
D. Les signaux liposolubles, leurs récepteurs nucléaires.....	497
I. Généralités.....	497
II. Structure des récepteurs nucléaires.....	498
IV. Réponses primaires et secondaires aux hormones stéroïdes.....	503
V. Récepteurs nucléaires et pathologie humaine.....	503
E. Communication intercellulaire par des radicaux libres gazeux : le monoxyde d'azote (NO).....	505
I. Les radicaux libres gazeux sont des médiateurs locaux.....	505
II. NO diffuse librement au travers des membranes et des fluides biologiques.....	505
III. Les NO-synthases (NOS) sont constitutives ou inductibles.....	505
IV. Les rôles de NO comme messenger intercellulaire.....	506
F. Adaptation de la cellule cible, régulation de la réponse, interactions entre voies de signalisation.....	508
I. La cellule cible s'adapte rapidement aux fluctuations des concentrations extracellulaires de tel ou tel ligand en contrôlant.....	508
II. Le contrôle de la quantité de ligand disponible.....	508
III. Le mode de contrôle de leur nombre est semblable pour les récepteurs membranaires et nucléaires, même si les modalités sont différentes.....	508
Résumé.....	512
Glossaire	514
Index	562