

# Sommaire

INTRODUCTION .....	IX	<b>CHAPITRE II</b>	
<b>CHAPITRE I</b>		<b>LES TRAFICS CELLULAIRES :</b>	
<b>LA COMPARTIMENTATION CELLULAIRE .....</b>	<b>1</b>	<b>ASSEMBLAGE ET ADRESSAGE</b>	
		<b>DES POLYMÈRES BIOLOGIQUES .....</b>	<b>31</b>
<b>I. LES MEMBRANES BIOLOGIQUES,</b>		<b>I. TRAFIC DES ACIDES NUCLÉIQUES : LE</b>	
<b>OU COMMENT ISOLER UNE PORTION</b>		<b>RÔLE ESSENTIEL DU NOYAU .....</b>	<b>32</b>
<b>DE L'UNIVERS .....</b>	<b>2</b>	1. Quelques éléments de biologie moléculaire.....	32
1. Les membranes sont constituées de lipides	2	1.1 <i>LifeWar, la trilogie : réplication, transcription,</i>	32
et de protéines .....	2	<i>traduction .....</i>	32
1.1 <i>Les lipides membranaires</i>	3	1.2 <i>La machinerie protéique associée .....</i>	33
<i>sont essentiellement des phospholipides .....</i>	3	2. La chromatine : structuration du stock d'ADN...	36
1.2 <i>Les protéines membranaires</i>	4	2.1 <i>Stockage de l'ADN : une nécessité</i>	36
<i>sont extrêmement variées .....</i>	4	<i>de compaction .....</i>	36
2. La structure des membranes résulte	6	2.2 <i>Réplication et transcription :</i>	38
des propriétés de ses constituants	6	<i>un problème d'accessibilité .....</i>	38
vis-à-vis de l'eau .....	6	2.3 <i>La chromatine est structurée à grande échelle .....</i>	39
2.1 <i>L'auto-organisation des lipides</i>	6	3. Le nucléole : fabrication de sous-unités	40
<i>membranaires en bicouche est liée</i>	6	de ribosome à la chaîne.....	40
<i>à leur caractère amphiphile .....</i>	6	4. La répartition des acides nucléiques	41
2.2 <i>La position des protéines dépend</i>	7	dans l'espace cellulaire est imposée	41
<i>de leurs possibilités d'interactions faibles</i>	7	par des protéines associées .....	41
<i>avec les lipides .....</i>	7	4.1 <i>La chromatine catalyse la formation du noyau .....</i>	41
3. La membrane est une structure fluide et	8	4.2 <i>Une maturation des ARN est nécessaire</i>	42
asymétrique.....	8	<i>à leur transport .....</i>	42
3.1 <i>Les deux hémimembranes sont asymétriques .....</i>	8	4.3 <i>Les pores nucléaires : des structures complexes</i>	42
3.2 <i>Les molécules membranaires sont mobiles</i>	9	<i>pour des rôles multiples .....</i>	42
<i>dans le plan de la membrane .....</i>	9	4.4 <i>La localisation cytoplasmique des ARN</i>	45
3.3 <i>La fluidité des membranes est modulée .....</i>	10	<i>est nécessaire à leur fonction .....</i>	45
4. Le modèle de Singer et Nicholson (1972) :	11		
bicouche lipidique et mosaïque fluide.....	11	<b>II. TRAFIC DES PROTÉINES D'ORIGINE</b>	
		<b>CELLULAIRE : LES COMPARTIMENTS</b>	
<b>II. LES PROBLÈMES INDUITS</b>		<b>ENDOMEMBRANAIRES .....</b>	<b>45</b>
<b>PAR LA COMPARTIMENTATION .....</b>	<b>12</b>	1. Les expériences <i>princeps</i> : expériences	
1. Un compartiment fermé en milieu aqueux =	12	de Palade sur le pancréas exocrine.....	46
des problèmes osmotiques .....	12	2. Origine des protéines :	
2. Le passage de métabolites .....	16	assemblage cytoplasmique.....	48
2.1 <i>Au niveau moléculaire :</i>	16	3. Collecte et maturation des protéines	
<i>les transports membranaires .....</i>	16	membranaires et sécrétées : RE, Golgi.....	51
2.2 <i>Au niveau cellulaire : les ...-cytoses .....</i>	18	3.1 <i>REG : collecte et glycosylation N-liée .....</i>	51
3. Le passage de l'information .....	19	3.2 <i>Réticulum lisse : assemblage des lipides</i>	
3.1 <i>La transduction membranaire .....</i>	20	<i>membranaires, hydroxylations .....</i>	55
3.2 <i>L'identité cellulaire : marqueurs de surface .....</i>	21	3.3 <i>Golgi : glycosylation O-liée et élaboration finale ...</i>	56
		4. Le réseau trans-golgien (TGN) :	
<b>III. COMPARTIMENTATION DANS</b>		une station de triage essentielle	
<b>LA CELLULE : DES ORGANITES</b>		vers la sécrétion ou les lysosomes .....	57
<b>MEMBRANAIRES SPÉCIALISÉS .....</b>	<b>21</b>	4.1 <i>Les voies de sécrétion : sécrétion constitutive</i>	
1. Le compartiment de traitement des protéines..	22	<i>et sécrétion régulée .....</i>	58
2. Le « compartiment » des acides nucléiques .....	24	4.2 <i>La voie endosomale / lysosomale .....</i>	58
3. Les compartiments clos .....	25	5. Les mécanismes du transport des cargos.....	59
4. Le compartiment cytosolique .....	25	5.1 <i>La formation d'une vésicule membranaire :</i>	
		<i>un manteau trieur .....</i>	59
<b>IV. EN GUISE DE CONCLUSION .....</b>	<b>26</b>	5.2 <i>L'adressage des vésicules :</i>	
		<i>un complexe moléculaire... complexe! .....</i>	61

## VI Biologie cellulaire

5.3 Adressage vectoriel des membranes ou évolution d'organites ? Les dilemmes de l'appareil de Golgi .....	63
---	----

### III. TRAFIC DES MOLÉCULES

<b>EXTRACELLULAIRES :</b> <b>LE COMPARTIMENT ENDOSOMAL</b> .....	66
1. Les endosomes précoces : tri et recyclage des récepteurs .....	66
2. Les endosomes tardifs : un point de rencontre des voies d'endocytose et de sécrétion .....	67
3. Les lysosomes : dégradation des molécules et lieu de contrôle du métabolisme .....	69

### IV. EN GUISE DE CONCLUSION...

## CHAPITRE III LES ORGANITES CLOS (MITOCHONDRIES, CHLOROPLASTES, PEROXYSOMES) ET L'ÉNERGIE CELLULAIRE ...

### I. LES MITOCHONDRIES : DES TRANSFORMATEURS À HAUT RENDEMENT

1. Un organe compartimenté .....	76
1.1 Une membrane externe très perméable .....	78
1.2 Une membrane interne imperméable et riche en protéines .....	78
1.3 Une matrice riche en enzymes, et contenant des acides nucléiques .....	79
2. Une compartimentation indispensable au fonctionnement mitochondrial .....	79
2.1 La chaîne respiratoire : des transporteurs d'électrons... translocateurs de protons! .....	80
2.2 L'exploitation du gradient électrochimique de protons .....	82

### II. LES CHLOROPLASTES : DES IMPORTATEURS ÉNERGÉTIQUES

1. Un organe compartimenté .....	84
2. L'organisation du chloroplaste est nécessaire à sa fonction .....	87
2.1 L'énergie lumineuse et l'organisation de la membrane permettent une séparation de charges électriques .....	87
2.2 Le fonctionnement des photosystèmes permet la genèse d'un gradient de protons .....	88
2.3 Une ATPsynthase exploite le gradient de protons ..	89
2.4 La phase chimique exploite les produits de la phase photochimique .....	90

### III. LES PEROXYSOMES : ORGANITES CLOS, LIEU D'OXYDATIONS SANS RÉCUPÉRATION ÉNERGÉTIQUE

.....	90
-------	----

### IV. L'ASSEMBLAGE DES COMPARTIMENTS FERMÉS

1. Le génome des mitochondries et des chloroplastes leur permet de mettre en place quelques protéines .....	93
2. ... mais l'immense majorité des constituants viennent du cytoplasme, par un import post-traductionnel .....	94

2.1 Un rôle essentiel des protéines chaperons : maintenir l'astructure des protéines à importer .....	94
---	----

2.2 Une séquence d'adressage permet la prise en charge de la protéine par un système d'import .....	95
---	----

2.3 Les surprises du peroxyosome .....	97
--	----

### V. EN GUISE DE CONCLUSION...

## CHAPITRE IV LA STRUCTURATION CELLULAIRE : LE CYTOSQUELETTE

### I. LES MICROFILAMENTS

1. L'actine et sa polymérisation .....	102
2. La dynamique des filaments d'actine <i>in vivo</i> : le tapis roulant et son interprétation .....	103
2.1 Les filaments d'actine sont des structures polarisées .....	104
2.2 La différence de concentration critique des extrémités du microfilament permet de modéliser le tapis roulant .....	104
3. Les protéines associées et leurs rôles .....	105
3.1 La régulation de la polymérisation des microfilaments .....	106
3.2 L'assemblage des microfilaments .....	107
4. Le moteur moléculaire associé à l'actine : myosine et contraction .....	109
4.1 Une famille de moteurs moléculaires .....	109
4.2 La contraction : l'exemple du muscle strié .....	110
4.3 Le calcium cytosolique régule la contraction .....	112

### II. LES MICROTUBULES

1. Les tubulines et leur polymérisation .....	113
2. Les polymères dans la cellule : microtubules solitaires et structures de tubulines .....	114
2.1 Les microtubules solitaires sont en instabilité dynamique : nécessité d'un centre organisateur .....	114
2.2 Les structures stables de microtubule .....	117
3. Les moteurs moléculaires associés à la tubuline : déplacement et positionnement des organites .....	120

### III. LES FILAMENTS INTERMÉDIAIRES

1. Des monomères filamenteux au mode de polymérisation discuté .....	123
2. Des polymères spécifiques de types cellulaires .....	124
3. Un rôle structural important .....	125
3.1 Au niveau cytoplasmique .....	125
3.2 Au niveau nucléaire .....	125

### IV. EN GUISE DE CONCLUSION...

## CHAPITRE V LE CYCLE CELLULAIRE ET SON CONTRÔLE

### I. LES DIFFÉRENTES PHASES DU CYCLE CELLULAIRE

.....	132
-------	-----

<b>II. LA PHASE S : DES COPIES (PRESQUE) CONFORMES</b> .....	133	<b>II. LES JONCTIONS CELLULAIRES</b> .....	160
1. La duplication du COMT.....	133	1. Les jonctions étanches limitent les tissus.....	161
2. La réplication de l'ADN: un événement majeur du cycle cellulaire.....	133	2. Les jonctions d'ancrage assurent une cohésion mécanique forte.....	162
2.1 L'initiation.....	133	2.1 <i>Jonctions d'ancrage et actine: les jonctions adhérentes</i> .....	163
2.2 L'élongation.....	134	2.2 <i>Jonctions d'ancrage et filaments intermédiaires: la famille des desmosomes</i> .....	164
<b>III. LE DÉROULEMENT DE LA MITOSE</b> .....	136	3. Les jonctions communicantes.....	166
1. Prophase.....	136	<b>III. LA COMMUNICATION CELLULAIRE</b> .....	167
2. Prométaphase.....	138	1. Une transduction directe est possible lorsque la molécule informative est hydrophobe.....	167
3. Métaphase.....	138	2. Les messages hydrophiles imposent une transduction membranaire.....	168
4. Anaphase.....	138	2.1 <i>Canaux ioniques ligand-dépendant et flux ioniques</i> .....	169
5. Télaphase.....	140	2.2 <i>Récepteurs couplés aux protéines G trimériques</i> ....	169
6. Cytodiérèse.....	140	2.3 <i>Récepteurs à activité enzymatique</i> .....	172
<b>IV. COMMENT RÉPARTIR DES CHROMOSOMES: UNE HISTOIRE COMPLEXE...</b> .....	141	<b>IV. EN GUISE DE CONCLUSION...</b> .....	174
1. L'instabilité dynamique des microtubules permet la construction du fuseau mitotique....	141	<b>CHAPITRE VII</b>	
2. Le rassemblement des chromosomes en métaphase est... multifactoriel.....	142	<b>EN GUISE DE CONCLUSION... D'OÙ VIENT LA CELLULE?</b> .....	177
3. Les mouvements de l'anaphase ont sans doute une origine complexe.....	143	<b>UNE MEMBRANE, UN SYSTÈME ENTRETENU ET UN SYSTÈME RÉPLICATIF</b> .....	177
<b>V. LE CONTRÔLE DU CYCLE CELLULAIRE</b> .....	144	<b>APPARITION DES PROCARYOTES</b> .....	178
1. Le cycle cellulaire est jalonné par un point de restriction et des points de contrôle.....	144	<b>LES EUCARYOTES ET LEURS ORGANITES</b> .....	179
2. Le cycle est réalisé grâce à une succession de complexes cdk/cycline.....	145	La mitochondrie: une protéobactérie reconvertie?.....	179
2.1 <i>Le complexe: une protéine kinase associée à une cycline</i> .....	146	Le chloroplaste: une cyanobactérie reconvertie?... ..	180
2.2 <i>Le cycle cellulaire: une succession de complexes...</i>	147	Les autres organites: des énigmes!.....	180
2.3 <i>... et des systèmes de dégradation</i> .....	147	<b>RÉPONSES</b> .....	183
3. Les points d'arrêt en G1: intégration de données intra- et extracytoplasmiques.....	148		
3.1 <i>Le SPF contrôle l'entrée en phase S par l'intermédiaire de la protéine Rb</i> .....	148		
3.2 <i>Le SPF est contrôlé par les facteurs de croissance</i> ...	149		
3.3 <i>Le complexe cdk4/cycline D est contrôlé par la protéine p53: le point de contrôle en G1</i> ....	149		
4. La sortie « sécurisée »: l'apoptose.....	150		
<b>VI. EN GUISE DE CONCLUSION...</b> .....	151		
<b>CHAPITRE VI</b>			
<b>LES CELLULES ET LEUR ENVIRONNEMENT</b> .....	153		
<b>I. LA MATRICE EXTRACELLULAIRE</b> .....	154		
1. Les composants de la MEC des cellules animales.....	154		
1.1 <i>La substance fondamentale: protéoglycanes</i> .....	154		
1.2 <i>Les protéines fibreuses</i> .....	155		
2. La matrice extracellulaire fournit un environnement propice aux cellules.....	157		
2.1 <i>La matrice assure un environnement mécanique</i> ...	157		
2.2 <i>La matrice permet le maintien d'un environnement physiologiquement favorable</i> .....	159		

## ANNEXES

<b>ANNEXE I</b>	
<b>LES ACIDES AMINÉS STANDARDS ET LEURS ABRÉVIATIONS</b> .....	191

<b>ANNEXE II</b>	
<b>OBSERVER DES CELLULES: LES TECHNIQUES DE MICROSCOPIE</b> .....	193

Voir à l'intérieur.....	193
Voir en surface.....	196
Voir des constituants particuliers au sein de la structure cellulaire.....	197

<b>ANNEXE III</b>	
<b>DISSÉQUER LES CELLULES: LES TECHNIQUES DE SÉPARATION</b> .....	200

Centrifugation et fractionnement cellulaire.....	200
Électrophorèse.....	201

**ANNEXE IV**  
**MANIPULER LES CELLULES :**  
**CULTURE *IN VITRO* ET GÉNIE GÉNÉTIQUE.....** 203  
Cultiver des cellules *in vitro* ..... 203  
Manipuler l'expression du génome..... 204  
*Interférence à ARN*..... 204  
*PCR* ..... 205  
*CRISPR – Cas 9*..... 207  
Les limites des modèles..... 208

**ANNEXE V**  
**QUELQUES ORDRES DE GRANDEURS ..... 209**  
Quelques rappels sur les abréviations..... 209  
À propos du nombre de cellules ..... 210  
À propos de longueur d'ADN ..... 210  
À propos de rapidité des systèmes moléculaires..... 211  
**BIBLIOGRAPHIE..... 213**  
1. Articles de revue..... 213  
2. Ouvrages synthétiques..... 213  
**INDEX..... 215**